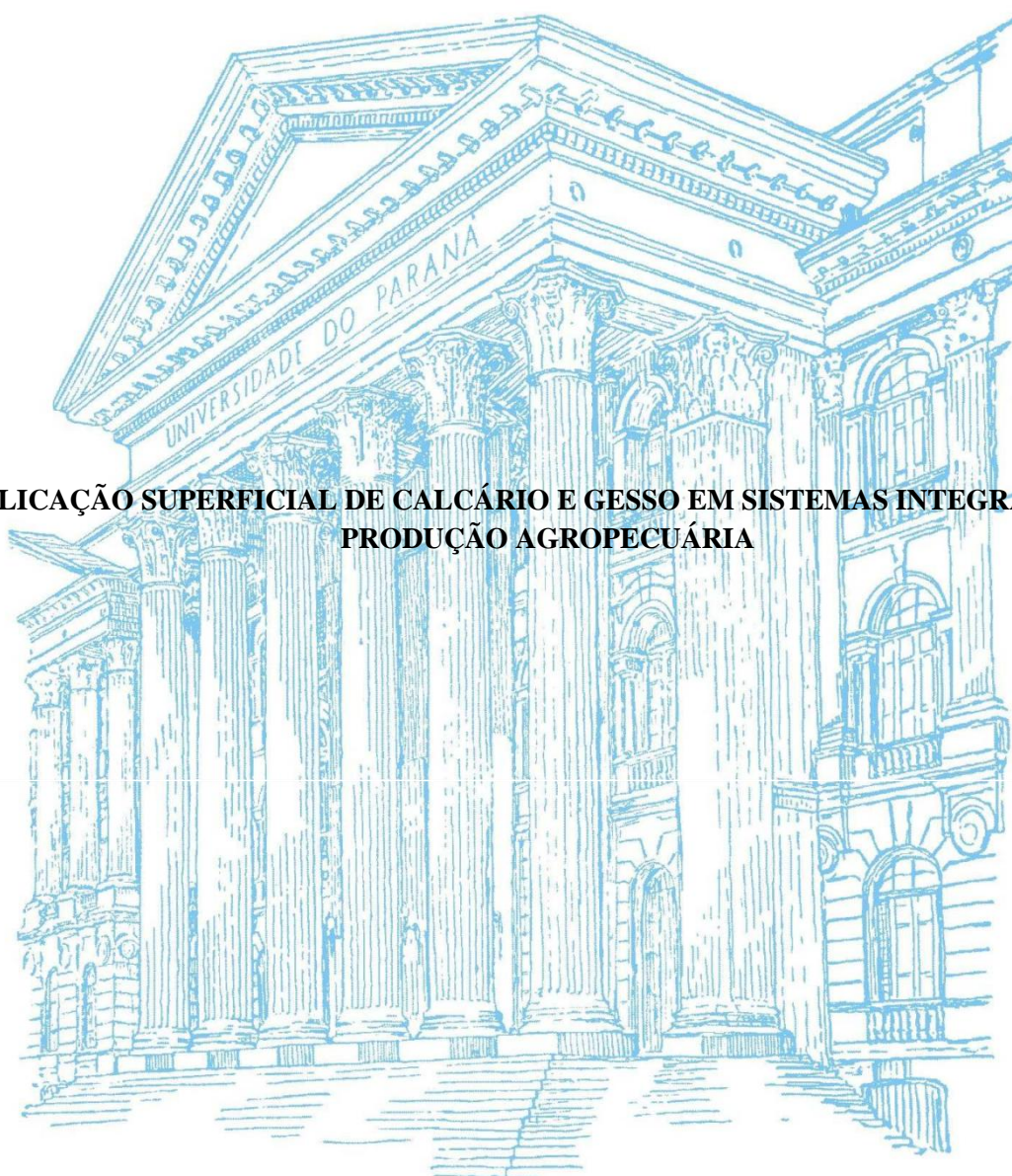


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

**APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**



CURITIBA

2016

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Adelino Pelissari

CURITIBA

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL

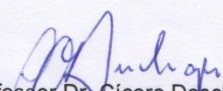


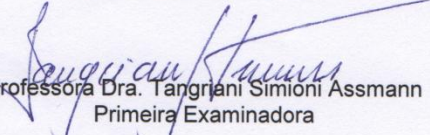
PARECER

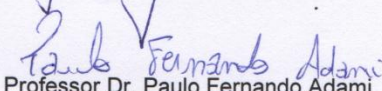
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pela candidata **MARIELA RODRIGUES DA SILVA**, sob o título **"APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA"**, para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.


Após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese.

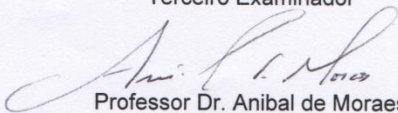
Curitiba, 29 de Fevereiro de 2016.

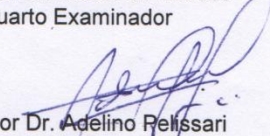

Professor Dr. Cícero Deschamps
Coordenador do Programa


Professora Dra. Tangirani Simioni Assmann
Primeira Examinadora


Professor Dr. Paulo Fernando Adami
Segundo Examinador


Dr. Edilson Batista de Oliveira
Terceiro Examinador


Professor Dr. Anibal de Moraes
Quarto Examinador


Professor Dr. Adelino Relissari
Presidente da Banca e Orientador

Ao meu namorado,

Marcio Maróstica,

Aos meus pais,

Maria e Basílio Rodrigues da Silva,

Aos meus irmãos,

Jucerléia, Vanderléia, Marcelo e Jussara,

Ofereço e dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder saúde e oportunidade de conhecer pessoas exemplares, pela companhia e força, levando-me a superar obstáculos e a alcançar meus objetivos.

Aos meus pais Basílio e Maria, exemplos de perseverança, de amor, de honestidade e de força de vontade, meus exemplos por toda a vida.

Aos meus irmãos Vanderleia, Marcelo, Jussara e Jucerléia por todo amor oferecido, e que espero ter sido retribuído por mim.

Aos meus amados sobrinhos, Michel, Kailandra, Vitor e Muryel pelos quais tenho amor incondicional.

À Universidade Federal do Paraná - UFPR, por disponibilizar excelentes professores, ensino gratuito e de qualidade.

Ao professor Dr. Adelino Pelissari, pela amizade, confiança, palavras de conforto, ajuda, incentivo e ensinamentos. Pelo seu exemplo de profissionalismo, dedicação e ser humano. O meu muito obrigado e eterno reconhecimento.

Ao professor Anibal de Moraes e à professora Tangriani Simioni Assmann pela amizade, prestatividade e colaboração no trabalho.

Ao Campus Cedeteg da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO) onde foi desenvolvido o trabalho de tese, especialmente na pessoa do Prof. Dr. Itacir Eloi Sandini, pela amizade, parceria e ajuda.

Ao membros do grupo de pesquisa AgrisusBrasil, sempre muito voluntariosos.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Marcio, por seu amor, carinho, apoio, confiança, compreensão, ajuda incondicional, dedicação e cuidado. Meu amor eterno.

As minhas amigas de convivência, Jussara Ferrazza, Milena Ferrari e a todo pessoal da Unicentro que tive contato durante a realização do experimento, pelo carinho, compreensão e inúmeros momentos de felicidade e boa companhia.

APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA¹

Autor: MSc. Marciela Rodrigues da Silva

Orientador: Dr. Adelino Pelissari

Co-orientador: Dr. Anibal de Moraes e Itacir Eloi Sandini

RESUMO

Em sistemas integrados de produção agropecuária, a presença dos animais, pode influenciar o crescimento e desenvolvimento das culturas e alterar a dinâmica da calagem e gessagem no solo. O presente trabalho foi realizado no período de maio de 2013 a março de 2015 com o objetivo de avaliar o efeito do pastejo e da aplicação de calcário e gesso em superfície, sobre a fertilidade de um Latossolo Bruno de Guarapuava, Paraná, a nutrição e o rendimento das culturas na sucessão aveia/azevém, milho, azevém e feijão. Os tratamentos, dispostos em blocos completos casualizados, em parcelas subdivididas com quatro repetições, constaram de dois sistemas de manejo (com e sem pastejo) nas parcelas e da aplicação de doses de calcário, com ou sem a utilização de gesso em superfície, nas subparcelas. O solo foi amostrado em 0, 6, 12 e 18 meses após a aplicação dos tratamentos, em camadas estratificadas até 60 cm. O consórcio aveia/azevém foi semeado em maio de 2013, o milho em outubro de 2013, o azevém em junho de 2014 e o feijão em dezembro de 2014, sendo todos esses cultivos submetidos à amostragem de folhas para análise química. No solo, as doses de calcário, com ou sem gesso, aumentaram o pH em magnitudes similares, criando uma frente de correção da acidez em profundidade proporcional ao tempo. A aplicação de calcário elevou os teores de Ca e Mg trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo e o gesso agrícola aumentou as concentrações de Ca trocável e $S-SO_4^{2-}$, contribuindo para que os teores de cálcio e magnésio alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo. A calagem e a gessagem em superfície não alteraram os teores de micronutrientes na camada de 0-20 cm de profundidade. O pastejo incrementou o efeito em profundidade da calagem e da gessagem nos teores de cálcio. As aplicações conjuntas de calcário e gesso aumentaram as concentrações de cálcio nas folhas de milho, feijão e azevém. Em termos de produtividade, o consórcio aveia/azevém, as culturas do milho e do feijão não foram influenciadas pelos

¹Tese de doutorado em Produção Vegetal. Programa de pós-graduação em Agronomia área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil. (88 p.). Fevereiro de 2016.

tratamentos de calcário e gesso, assim como não responderam ao pastejo. Já as produções de matéria seca total e residual do azevém foram positivamente afetadas pela utilização do gesso, coincidindo com o aumento na absorção de Ca e S, sendo evidenciadas maiores produções de biomassa total acumulada nas áreas pastejadas.

Termos para indexação: milho, feijão, cálcio, pastejo, ovinos.

LIME AND PHOSPHOGYPSUM SURFACE APPLICATION IN A CROP-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM

ABSTRACT

Author: MSc. Marciela Rodrigues da Silva

Advisor: Professor. Doc Adelino Pelissari

In Integrated systems of agricultural production, the presence of animals can influence the growth and development of crops and change the dynamics of limestone and phosphogypsum in the soil. This study was conducted from May 2013 to March 2015 with the objective of evaluating the effect of grazing and application of lime and phosphogypsum surface on the fertility of a Oxisol Guarapuava, Paraná, nutrition and crop yields in succession oats / ryegrass, corn, rye and beans. Treatments were arranged in a randomized complete block design with split plots with four replications, consisted of two management systems (with and without grazing) in installments and the liming doses, with or without the use of phosphogypsum surface, the subplots. Soil samples were collected at 0, 6, 12 and 18 months after treatment application, in stratified layers up to 60 cm. The oat / ryegrass was sown consortium in May 2013, corn in October 2013, the ryegrass in June 2014 and beans in December 2014, all of these crops submitted to leaf sampling for chemical analysis. In soil, limestone dosages, with or without gypsum, the pH of similar magnitudes increased, creating a front acidity correction in depth proportional to time. Liming raised the Ca and Mg exchangeable, mainly in the upper soil layers and gypsum increased exchangeable Ca concentrations and S-SO_4^{2-} , contributing to the calcium and magnesium reached, faster, the subsoil layers. Liming and gypsum surface did not alter micronutrients levels at 0-20 cm depth. Grazing increased the depth effect of lime and gypsum in calcium levels. The joint application of lime and gypsum increased calcium concentrations in the leaves of corn, beans and ryegrass. In terms of productivity, oats/ryegrass consortium, crops of corn and beans were not affected by limestone and gypsum treatments, and did not respond to grazing. The yields of dry matter and total residual ryegrass were positively affected by the use of gypsum, coinciding with the increase in Ca absorption, and S, with evident higher yields of total biomass accumulated in the grazed area.

Index terms: corn, common bean, calcium, grazing, sheep.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	15
2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO	15
2.3 IMPACTOS DA CALAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	17
2.3.1 Indicadores de acidez	17
2.3.2 Calagem em sistema de integração lavoura-pecuária.....	17
2.4 ACIDEZ DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES	19
2.4.1 Alterações na rizosfera e redução da toxidez de alumínio	20
2.5 GESSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	22
2.6 UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DAS CULTURAS ..	24
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
3 ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUÇÃO FORRAGEIRA DE AVEIA E AZEVÉM EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE.....	32
3.1 Introdução	33
3.2 Material e Métodos.....	35
3.3 Resultados e Discussão	38
3.4 Conclusão	45
3.5 Referências bibliográficas	45
4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	49
4.1 Introdução	50
4.2 Material e métodos	52
4.3 Resultados e Discussão	54
4.4 Conclusões	67
4.5 Referências bibliográficas	67
5 NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SUCESSÃO AZEVÉM-MILHO-FEIJÃO EM FUNÇÃO DO PASTEJO E DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE	71
5.1 Introdução	72
5.2 Material e Métodos.....	73
5.3 Resultados e Discussão	76
5.4 Conclusões	83
5.5 Referências bibliográficas	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de condução do ensaio.....	35
Figura 2 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de abril de 2013 a março de 2015.....	52
Figura 3 - Valores de pH CaCl_2 no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície em quatro épocas de amostragem após a aplicação.....	55
Figura 4 - Teores de cálcio trocável no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.	57
Figura 5 - Teores de magnésio trocável no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação.....	59
Figura 6 - Teores de sulfato no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação.	60
Figura 7 - Teores de potássio no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.	62
Figura 8 - Saturação por bases em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.....	64
Figura 9 - Teores de alumínio no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície em quatro épocas de amostragem após a aplicação.....	65
Figura 10 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de novembro de 2013 a março de 2015.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química dos solos melhorados, na camada de 0-20 cm, nas áreas com e sem pastejo, antes da instalação do ensaio e, doses correspondentes de calcário utilizadas nas subparcelas.....	36
Tabela 2 - Níveis de alguns componentes do solo para efeito da interpretação de resultados de análise química	37
Tabela 3 - Produção de massa seca total (kg MS ha ⁻¹), matéria seca residual (MSR, kg MS ha ⁻¹), taxa de acumulação de matéria seca (TA, kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) e taxa de desaparecimento de forragem (TDF, kg por 100 kg de peso vivo dia ⁻¹) em diferentes sistemas de produção (com e sem pastejo) e aplicações de calcário e gesso em superfície.....	39
Tabela 4 - Composição botânica (%) de forragem na mistura de aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.) e azevém (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.) ao longo do ciclo da pastagem nos sistemas de produção (com e sem pastejo)	42
Tabela 5 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg , S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da pastagem de aveia e azevém, na presença de pastejo, em quatro épocas de amostragem após a aplicação de calcário e gesso em superfície.....	43
Tabela 6 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg , S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da pastagem de aveia e azevém na ausência de pastejo, em duas épocas de amostragem após a aplicação de calcário e gesso em superfície.....	44
Tabela 7 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg , S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da mistura forrageira de aveia e azevém em áreas com e sem pastejo	45
Tabela 8 - Teores de cobre, ferro, manganês e zinco no solo (0-0,20 m), em função da aplicação de doses de calcário e gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação.....	66
Tabela 9 - Caracterização química do solo antes do início do experimento	75
Tabela 10 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de milho sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado).....	78
Tabela 11 - Médias de produtividade de milho em função de doses de calcário e gesso agrícola em dois sistemas de produção (pastejado e não pastejado)	78
Tabela 12 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de feijão sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado)	80
Tabela 13 - Médias de produtividade de feijão em função de doses de calcário e gesso agrícola em dois sistemas de produção (pastejado e não pastejado)	81
Tabela 14 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de azevém sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado)	82
Tabela 15 - Produção de matéria seca residual (MSR, kg MS ha ⁻¹) e massa seca total (MST, kg MS ha ⁻¹), em diferentes sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado) e aplicações de calcário e gesso em superfície	83

1 INTRODUÇÃO

Os solos, de maneira geral, funcionam como um reservatório de água e nutrientes, os quais devem ser fornecidos para as plantas de acordo com as suas necessidades, sendo as camadas superficiais sempre as primeiras a esgotar suas reservas em água, seja pelas perdas por evaporação ou por extração pelas raízes das plantas. Nessa condição, mesmo na presença de elevados teores de nutrientes, estes estarão indisponíveis para serem absorvidos em função da falta de umidade. Soma-se a isso, o fato de que, atualmente, as principais plantas cultivadas, especialmente para produção de grãos apresentam ciclos cada vez mais curtos, e assim períodos de déficit hídrico, em estádios críticos da cultura, prejudicam cada vez mais o rendimento de grãos. Dessa forma, em regiões onde condições climáticas adversas e períodos de deficiência hídrica tem se tornado cada vez mais frequentes, a manutenção de altos índices de produtividade em cultivos de sequeiro está na dependência de práticas de manejo que favoreçam a retenção de água, o aprofundamento do sistema radicular e a deposição de nutrientes ao longo do perfil do solo.

No que diz respeito ao pleno desenvolvimento de raízes, este se encontra diretamente associado à ausência de limitações de ordem física, química ou biológica. No entanto, os solos do Brasil, em sua grande maioria, são naturalmente ácidos, o que acarreta em restrições ao crescimento radicular em profundidade, em função da toxidez ocasionada pelo alumínio e a baixa saturação por bases, reduzindo a exploração de água e nutrientes, dificultando o desenvolvimento da maioria das culturas e, conseqüentemente, a estabilidade de produção nos cultivos agrícolas.

Tradicionalmente, sabe-se que a calagem é a prática mais eficiente para resolver problemas relacionados à acidez, aumentando a disponibilidade de nutrientes, diminuindo o teor de elementos tóxicos e restaurando a capacidade produtiva dos solos (Caires et al., 2005). De forma complementar, o gesso, por apresentar maior mobilidade (Caires et al., 1998) em decorrência de sua maior solubilidade em relação aos calcários, tem sido amplamente utilizado, com o objetivo de reduzir a toxicidade do alumínio, aumentar a concentração de Ca em profundidade (Soratto et al., 2008; Caires et al., 2004; Caires et al., 1998) e melhorar o ambiente radicular nas camadas subsuperficiais (Caires et al., 2003).

Alguns trabalhos tem demonstrado efeito positivo da aplicação de gesso na produtividade das culturas (Caires et al., 2004; Soratto et al., 2008), assim como a eficiência de utilização do calcário em superfície na correção do pH em camadas mais profundas, porém, apesar do grande potencial de uso desses corretivos, os estudos envolvendo a utilização de gesso e calcário, em sua grande maioria se referem a áreas exclusivamente de

grãos (lavoura) em sistema de plantio direto (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al. 2005), sendo que estudos relacionados a calagem em áreas sob integração lavoura-pecuária são escassos, principalmente quando envolvem a aplicação associada desses corretivos, o que justifica a realização de pesquisas nessa área, uma vez que a presença dos animais, como parte do ciclo biogeoquímico, aumenta os níveis de complexidade dos processos envolvidos na movimentação das partículas finas e nutrientes no perfil do solo.

A deposição de excrementos de origem animal, especialmente as fezes, promove maior atividade dos organismos presentes no ambiente, o que resulta na abertura de galerias (bioporos) no interior do solo (Edwards et al., 1988), pelas quais pode se dar a descida de partículas finas, favorecendo a correção da acidez em profundidade (Flores et al., 2008; Cassol, 2003). Da mesma forma, os resíduos vegetais e animais contribuem com compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular que atuam como ligantes orgânicos, propiciando aumento de cálcio e magnésio e redução de Al no subsolo, promovendo o deslocamento vertical e o efeito em profundidade do calcário no solo (Miyazawa et al., 2000).

A utilização de calcário e gesso, além de promover alterações químicas, também pode influenciar alguns atributos físicos do solo, por alterar o comportamento eletroquímico dos coloides. Os efeitos ocasionados pela aplicação desses produtos são complexos e muitas interações podem ocorrer por meio de mecanismos muitas vezes ainda pouco conhecidos. As mudanças na estabilidade de agregados e outros atributos físicos do solo, decorrentes da calagem e da gessagem, podem estar associados ao efeito direto de tais práticas na composição química da solução do solo. Assim, alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influenciariam significativamente a dispersão ou floculação dos coloides, interferindo, por consequência, na agregação das partículas do solo (Spera et al., 2008; Albuquerque et al., 2003). Em contrapartida, a adição de calcário, gesso e adubos ao solo favorece, indiretamente, a produção de biomassa das culturas, levando a uma maior adição de matéria orgânica, o que incrementa a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (Haynes, 1984).

Em função do exposto, essa pesquisa baseia-se na hipótese de que a aplicação de calcário em quantidades superiores as usualmente preconizadas, assim como a utilização de gesso agrícola, aplicados superficialmente em plantio direto, na presença de animais em pastejo, funciona como indutor de crescimento radicular em profundidade, pela correção da acidez, redução na toxicidade do Al^{3+} e deposição de nutrientes em camadas mais profundas no perfil do solo (superiores a 20 cm), permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas culturas e consequentemente, aumento na produtividade. Nesse caso, a

eficiência de utilização e aproveitamento dos nutrientes pelas plantas seria maximizada pela maior exploração do perfil do solo pelas culturas.

Por outro lado, à utilização de gesso e altas doses de calcário, podem resultar em alterações nas propriedades eletroquímicas dos coloides do solo e, conseqüentemente ocasionar possíveis impactos na estabilidade estrutural, tornando-o propício à compactação e erosão.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a influencia do pastejo e da aplicação de calcário e gesso em superfície sobre a fertilidade de um Latossolo Bruno álico e seus reflexos na nutrição e rendimento das culturas na sucessão aveia/azevém, milho, azevém e feijão.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Com a crescente necessidade de aumentar a produção por uma razão de segurança alimentar, em decorrência do aumento da população humana, e a evolução tecnológica na produção, a agricultura moderna passou a se caracterizar por sistemas padronizados e simplificados de monocultura. Além disso, com a expansão da fronteira agrícola, o manejo mecanizado do solo e o uso de agroquímicos, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais têm sido realizadas de maneira intensificada, independente e dissociada. No entanto, esse modelo de produção agropecuária, predominante nas propriedades rurais, tem mostrado sinais de saturação, qualificando-se como promotor de degradação ambiental e, portanto, sócio e economicamente não sustentável à longo prazo, em virtude da elevada demanda por energia e recursos naturais que o caracteriza (Balbino et al., 2011).

Dessa forma, a utilização de sistemas integrados mais sustentáveis, como a associação das pastagens às lavouras, adquire considerável importância no sentido de minimizar os impactos ambientais negativos ligados a intensificação agrícola, incrementando a biodiversidade vegetal e a qualidade do solo. Pois, como sabemos, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) caracterizam-se por explorar sinergismos e propriedades emergentes, fruto de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (Moraes et al., 2012), apresentando maior eficiência no uso dos recursos naturais e na ciclagem de nutrientes, redução dos custos de produção e prestações de serviços ecossistêmicos.

2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

A biogeoquímica em ecossistemas envolvendo a integração lavoura-pecuária é complexa e a dinâmica da ciclagem de nutrientes torna-se mais eficiente, uma vez que o aumento no nível de diversidade tende a tornar os sistemas mais estáveis, pois o fluxo de nutrientes passa a ser conduzido por uma série de relações sinérgicas, ou seja, na presença de animais em pastejo ocorre o consumo de nutrientes, via desfolhação das plantas da pastagem, os quais, em sua grande maioria (90%) (Rodrigues, 2000), retornam ao solo via fezes e urina, sendo liberados para a solução em um curto espaço de tempo, estando prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas raízes das plantas novamente (Balbinot Jr et al., 2009). Dessa forma, pode-se dizer que uma das grandes vantagens dos sistemas de integração

lavoura-pecuária é o aproveitamento de um mesmo nutriente para produção animal e vegetal, já que o seu retorno dá-se diretamente sobre a área cultivada, eliminando desta forma a necessidade de transporte desse material e reduzindo assim as perdas de nutrientes para o ambiente.

Entretanto, na distribuição espacial dos nutrientes, os animais também impõe heterogeneidade ao pastejar de forma seletiva e criar mosaicos de alturas na pastagem e composições morfológicas diferentes no dossel forrageiro (Anguinoni et al., 2011). Da mesma forma, os nutrientes que retornam a pastagem via fezes e urinas tem distribuição irregular na área, sendo influenciados principalmente, pela taxa de lotação animal, método de pastejo, espécie, raça e sexo do animal, quantidade e frequência das excreções, área de descanso, localização de aguadas e sombra (Rodrigues et al., 2008; Souto et al., 2006). Além disso, deve-se considerar que nesse sistema o dossel forrageiro produzido e não ingerido pelos animais também é fonte de retorno de nutrientes, pois as pastagens apresentam alta produção de massa seca e de raízes em profundidade o que favorece a grande absorção de nutrientes, especialmente das camadas mais profundas, e seu retorno à superfície do solo, aumentando assim a disponibilidade dos mesmos para a cultura subsequente (Anghinoni et al.; 2011) e contribuindo desta forma, para que menores perdas ocorram por lixiviação e erosão.

Apesar dos SIPA apresentarem inúmeras vantagens em relação aos sistemas apenas de lavoura sob PD, seu sucesso está diretamente associado, inicialmente, ao adequado conhecimento do sistema como um todo e posteriormente ao correto manejo da propriedade, o qual deve ser realizado priorizando a obtenção de elevados rendimentos, tanto no componente vegetal como no animal, evitando a ocorrência de restrições ao ambiente radicular e favorecendo a produção de quantidades de resíduos suficientes para o estabelecimento e a consolidação do plantio direto. Por isso esses sistemas pressupõem a prática de alguns fundamentos básicos, dentre eles, o adequado manejo da intensidade de pastejo, bem como a correção da acidez e fertilidade do solo, pois como se sabe a grande maioria das lavouras no Sul do Brasil possui baixos níveis de fósforo e acidez elevada, uma vez que a reacidificação do solo ocorre naturalmente pela decomposição de resíduos culturais e utilização intensa de adubos nitrogenados (SBSC, 2004). Estimativas realizadas por Quaggio (2000) apontam que, aproximadamente, 70% da superfície territorial brasileira é composta por solos ácidos, sendo que em 40% destes a produtividade das culturas é reduzida à metade como efeito da acidez, estando o consumo de calcário (corretivo de acidez) por hectare cultivado próximo a $\frac{1}{3}$ da quantidade média necessária estimada. Dessa forma, a correção destes níveis é fundamental para alcançar alto rendimento das pastagens e das culturas de grãos.

2.3 IMPACTOS DA CALAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

2.3.1 Indicadores de acidez

A produção agrícola no Brasil frequentemente é afetada pela acidez e erosão do solo. Em áreas sob pastejo existe uma propensão de declínio do pH com o tempo, em proporções que variam conforme o solo e as práticas de manejo adotadas (Russel, 1986), sendo à decomposição de resíduos das culturas e dos animais (grupos carboxílicos e fenólicos), a reação dos adubos nitrogenados, à nitrificação de amônio das placas de urina e a posterior lixiviação de nitrato, a exportação de bases pelos grãos na colheita e pelos animais via carne e leite, os principais fatores associados à acidez do solo em sistema de integração lavoura-pecuária (Anglinoni et al., 2011). Em estudo realizado por Helyar et al., (1997) avaliando o efeito de seis rotações, em um experimento conduzido na Austrália, durante 18 anos, observou-se uma redução de 0,04 unidades ano^{-1} de pH na profundidade de 0-30 para todas as rotações. De acordo com os autores, a taxa de acidificação, não foi influenciada pelo tipo de rotação, sendo parte dela atribuída a ciclagem de N (64 a 80%) e o restante à produção de ácidos orgânicos resultante do acúmulo de MO e à síntese de produtos que foram subsequentemente removidos.

No entanto, os sistemas integrados de produção, quando bem manejados, promovem um aumento gradual nos estoques de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, que contribui na redução dos efeitos prejudiciais da acidez do solo e da toxidez de alumínio devido ao aumento de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Salet et al., 1999), capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio (Pearson, 1966). Dessa forma, além de neutralizarem o alumínio tóxico, esses compostos podem aumentar a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície (Amaral et al., 2004). Entretanto, mesmo que essa redução ocorra isto, geralmente, não faz prescindir a correção da acidez do solo, uma vez que as forrageiras e as culturas comerciais respondem à aplicação de calcário (Petrere & Anghinoni, 2001; Sá, 1999).

2.3.2 Calagem em sistema de integração lavoura-pecuária

No estado do Paraná, com a introdução do sistema plantio direto, a partir da década de 1970, reduziram-se as perdas de solo e de nutrientes por erosão. Contudo, no que se refere à correção da acidez, o calcário passou a ser distribuído na superfície sem incorporação, sendo a eficiência de sua aplicação superficial, particularmente na correção da acidez do subsolo, controversa e bastante complexa, sofrendo a influencia de vários fatores e mecanismos.

Resultados de pesquisas realizadas com solos brasileiros indicaram baixo ou nenhum movimento do calcário além do local de sua aplicação (Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984). Entretanto, em outros trabalhos (Caires et al., 1998; Caires, 2000; Anghinoni, 2007; Oliveira & Pavan, 1996), foram observados aumentos de pH e Ca trocável e redução de Al trocável em camadas do subsolo com a aplicação de calcário na superfície, resultante da descida física de partículas finas e da ação de ácidos orgânicos hidrossolúveis atuando de forma isolada ou em conjunto. Além disso, pesquisas recentes têm indicado que a necessidade de calcário no sistema plantio direto talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo (Caires et al., 1998; Pottker & Ben, 1998). Portanto, existem informações conflitantes a respeito da eficiência da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, e de critérios de recomendação de calagem para tal sistema de cultivo.

Para tanto, deve-se considerar que algumas características intrínsecas aos solos, principalmente aquelas relacionadas com o tamponamento, também afetam a profundidade de atuação das reações de correção do solo provocadas pela calagem (Ernani et al., 2001). O poder tampão do solo está ligado à sua capacidade de resistir a aplicações de ácidos, ou bases, sem ocorrer grandes alterações no pH. Esta capacidade encontra-se associada aos constituintes do solo. Assim, solos argilosos ou com elevados teores de matéria orgânica, geralmente apresentam maior poder tampão, pois os pontos de troca dos coloides orgânicos e minerais funcionam como receptores e fornecedores de H^+ , mantendo o pH sem grandes alterações (Luchese et al., 2001). Nesse sentido, Pöttker & Ben (1998) observaram que em um solo de textura média houve maior efeito da calagem aplicada em superfície na correção da acidez em profundidade, quando comparado com um solo de textura argilosa.

Em relação à dinâmica do calcário em sistema de integração lavoura-pecuária, em estudo praticado, com diferentes intensidades de pastejo de bovinos, constatou-se que a presença dos animais favoreceu os efeitos em profundidade da calagem aplicada na superfície do solo, caracterizando melhorias no pH, cálcio, magnésio, saturação por bases e por alumínio ao longo do perfil do solo (Flores et al., 2008). De acordo com Anglinoni et al., (2011) essa rápida descida ocorre como resultado da ação conjunta do pastejo (alteração de atributos físicos do solo), do resíduo de culturas (biomassa vegetal sobre o solo) e dos excrementos dos animais (ligantes orgânicos).

Além disso, a exsudação de compostos orgânicos pela aveia e pelo azevém, sob influência do pastejo (remoção da parte aérea com efeito associado à senescência de componentes morfológicos, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular), poderia ser

responsável por um efeito mais homogêneo frente à acidez das áreas pastejadas, uma vez que a distribuição dos resíduos animais é heterogênea (Flores et al., 2008). Os mesmos ácidos orgânicos exsudados pelas plantas e liberados durante a decomposição dos resíduos vegetais (Kochian, 1995; Ma et al., 2001) também são encontrados nos excrementos animais, principalmente nas fezes (Baziramakenga & Simard, 1998). Desta forma, é possível que, os ácidos orgânicos solúveis de origem animal, de forma semelhante ao observado para os ácidos orgânicos solúveis de origem vegetal, possam diminuir a ação fitotóxica do alumínio e formar complexos com Ca^{2+} e Mg^{2+} favorecendo, dessa forma, a sua descida no perfil do solo. Esses efeitos em profundidade dependem, por conseguinte, de uma série de fatores tais como a quantidade e dose de calcário aplicada, o tipo de solo, a adubação, o sistema de rotação e de manejo de resíduos das culturas, bem como o regime pluviométrico (Anglinoni et al., 2011).

Além disso, deve-se considerar que diferenças na dinâmica do calcário aplicado superficialmente sobre o solo, quando este for submetido a altas pressões de pastejo, poderiam ocorrer, pois quando os níveis de biomassa sobre o solo são muito baixos, os efeitos do pisoteio animal serão maximizados. Neste caso, a taxa de infiltração de água passa a ser muito baixa e, devido à redução no tamanho do espaço poroso do solo, ocorre uma baixa concentração de oxigênio disponível para as raízes, que se tornam superficiais, (Blaser, 1966), restringindo a descida de partículas finas e diminuindo o volume de exploração do solo por água e nutrientes. No entanto, até o presente ainda são escassos os estudos que exploram o tema calagem num ecossistema envolvendo o solo, a planta e o animal.

2.4 ACIDEZ DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES

Embora existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez, a correção da acidez do solo é muito importante ao adequado desenvolvimento das plantas (Cantarella, 1993). O aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção de N (Goodroad & Jellum, 1988), P, K, Ca e Mg (Lutz Jr. et al., 1972) pelas culturas. De acordo com Raij et al., (1998), para a cultura do milho, mesmo genótipo com tolerância ao Al e que conseguem aprofundar seu sistema radicular em solos ácidos apresentam, normalmente, respostas positivas à calagem.

O crescimento radicular das plantas, em geral, é controlado por fatores genéticos; entretanto, pode ser afetado por fatores físicos e químicos do solo. Segundo Miller (1986), as raízes estão sujeitas à falta ou excesso de água, deficiência de oxigênio, variação da temperatura, deficiência ou desequilíbrio de nutrientes, além de impedimentos físicos e presença de elementos tóxicos.

Entre os fatores químicos, os mais estudados são os relacionados ao alumínio (Al) e ao cálcio (Ca). De maneira geral, os efeitos prejudiciais do alumínio refletem-se nas raízes que tem o seu crescimento mais lento. O alumínio interfere no processo de divisão celular e as raízes paralisam o crescimento e apresentam alterações morfológicas profundas. Posteriormente engrossam e não se ramificam normalmente. O excesso de alumínio prejudica a absorção e o metabolismo de nutrientes pelas plantas, principalmente N, P, Ca e Mg (Furlani, 1989). De acordo com Foy (1984), a toxicidade de alumínio é o principal fator limitante ao estabelecimento de diferentes culturas em solos ácidos.

O cálcio, por sua vez, é um nutriente com papel preponderante no crescimento radicular das plantas (Ritchey et al., 1982). Quando a saturação de Ca no complexo de troca é inferior a 20%, há forte limitação ao crescimento das raízes no solo, na maioria das espécies cultivadas (Quaggio, 2000). Segundo o autor, a absorção de Ca ocorre apenas nas partes mais novas, ainda não suberizadas das raízes, havendo assim necessidade de absorção contínua desse nutriente para assegurar o desenvolvimento do sistema radicular, o que implica que o cálcio deve estar distribuído adequadamente no solo. É importante acrescentar que estes fatores químicos que afetam o crescimento radicular são muito importantes nas áreas tropicais, tendo em vista que grande parte dos solos desta região apresenta reação ácida, com alta concentração de Al tóxico e baixo conteúdo de cálcio. Além disso, sucessivas aplicações de fertilizantes de reação ácida, como os adubos nitrogenados, causam forte acidificação dos solos.

2.4.1 Alterações na rizosfera e redução da toxidez de alumínio

Conforme mencionado anteriormente os mecanismos de ação fitotóxica do alumínio afetam a divisão e expansão celular e causam desorganização da membrana plasmática e inibição da absorção de íons. Alguns desses efeitos são visualizados pelo menor crescimento e engrossamento do sistema radicular (Miguel et al., 2010), resultando em menor volume de solo explorado pelas raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Dessa forma, em solos ácidos, o aumento do pH rizosférico e o consequente decréscimo na atividade do Al podem ser considerados mecanismos de adaptação de espécies de plantas e de variedades a condições adversas de acidez do solo. O pH do meio envolvendo as raízes tem grande influência na especiação do Al, sendo de fundamental importância na redução da toxidez desse elemento na rizosfera (Gahoonia, 1993).

Maiores alterações no pH da rizosfera (pH_r) são atribuídas à extrusão e absorção de H^+ ou de HCO_3^- , respiração da raiz, liberação de exsudatos de baixa massa molecular (ácidos

orgânicos, açúcares, fenóis) e, especialmente, à relação entre a absorção de cátions e a de ânions (Hinsinger et al., 2003; Taiz & Zeiger, 2004). Dada à variação espacial (área superficial do sistema radicular) e temporal (mudanças induzidas pelo sistema radicular) quanto aos nutrientes absorvidos pelas plantas, observa-se que estas dificilmente absorvem quantidades equivalentes de cátions e ânions. Como as raízes devem manter equilíbrio eletroquímico com o meio (rizosfera) e constância no pH intracelular, esses desbalanços na absorção iônica devem ser compensados pela simultânea extrusão de H^+ , quando em situações de predomínio da absorção de cátions, ou de liberação de OH^- ou HCO_3^- ou $RCOO^-$, quando do predomínio de ânions absorvidos (Souza et al., 2010). Para tanto, a dimensão desse processo varia entre espécies e com o status nutricional da planta (Römheld & Marschner, 1984).

Além disso, a alteração do pH rizosférico (relação H^+/HCO_3^-) pode ser influenciada pela aplicação de fertilizantes, especialmente no que se refere às fontes de N, se amoniacal ($N-NH_4^+$) ou nítrica ($N-NO_3^-$) (Durieux et al., 1993). De acordo com Marschner & Römheld (1983), a absorção de $N-NH_4^+$ promove o efluxo de H^+ , e a absorção de $N-NO_3^-$, de HCO_3^- . Entretanto, a proporção entre $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ absorvidos varia consideravelmente entre espécies e entre cultivares. Em plantas leguminosas, que fixam nitrogênio simbioticamente, a origem principal desse nutriente é o molecular (N_2), causando desbalanço na proporção entre cátions e ânions (Marschner, 1995), visto que nessa condição de nodulação eficiente, absorvem menores quantidades de $N-NO_3^-$ em comparação às gramíneas, o que resulta no efetivo abaixamento do pH_r , uma vez que a planta ao assimilar mais cátions passa a liberar H^+ predominantemente.

Dessa forma, a espécie de planta utilizada no sistema, por si só, pode interferir no processo de acidificação do solo. Para tanto, em pastagens cultivadas na Nova Zelândia, a aplicação de calcário tem sido recomendada em intervalos de 2-4 anos, para manter o pH em níveis adequados ao crescimento das pastagens (During, 1984), fundamentalmente devido a alta participação de leguminosas nessas áreas. Em contrapartida, em sistemas de manejo do solo em que são incluídas gramíneas para pastejo ocorre maior presença de raízes, que promovem aumento na proporção de solo rizosférico. Quanto maior a quantidade dessas raízes, aliado ao corte da parte aérea, que provoca alta exsudação de compostos orgânicos (Tisdall & Oades, 1982), maior é a capacidade de aumento do pH_r , em decorrência da maior possibilidade de aproveitamento do NO_3^- das camadas mais profundas do solo.

Dessa forma, aumentos de pH_r podem apresentar efeitos benéficos ou maléficos no crescimento de plantas. Em solos alcalinos ou que receberam calagem, o aumento do pH_r

pode levar à menor disponibilidade de micronutrientes, como Fe, Mn, Cu e Zn (Souza et al., 2007). Portanto, alterações no pH de plantas fixadoras de N₂ parecem exercer papel fundamental na absorção de micronutrientes que têm sua disponibilidade dependente de alterações do pH do solo, particularmente daquele da rizosfera. Contrariamente, em solos ácidos, o aumento do pH_r pode resultar em decréscimo da atividade do Al e, em alguns casos, também de Mn, bem como no aumento da disponibilidade de alguns nutrientes (Silva & Mendonça, 2007).

Contudo, considerando que a aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto, normalmente, não corrige total e rapidamente a acidez do solo em profundidades maiores do que 10 cm (Rhenheimer et al., 2000), a utilização de espécies de cobertura do solo ou recicladoras de nutrientes é uma alternativa interessante para diminuir a toxidez de alumínio às raízes das plantas, quer pelo efeito direto, na neutralização do alumínio na zona de crescimento radicular, ou indireto, pela produção de fitomassa.

2.5 GESSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Os solos brasileiros, de maneira geral, apresentam características químicas naturais, desfavoráveis ao pleno desenvolvimento das culturas, como: deficiência e alta taxa de retenção de fósforo, baixos teores de cátions básicos e elevada saturação por alumínio, caracterizando-se como um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes fosfatados, potássio, nitrogênio e formulados (NPK).

Soma-se a isso o fato de que com a adoção do sistema de semeadura direta, o calcário que anteriormente costumava ser incorporado ao solo passou a ser aplicado em superfície e, graças à sua baixa solubilidade, inúmeras lavouras começaram a apresentar toxidez por alumínio, assim como deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais, favorecendo a formação de uma “barreira química” ao desenvolvimento normal de raízes em profundidade, com diminuição da capacidade das plantas em absorver água, o que afeta negativamente a produtividade das culturas (Lopes et al., 2004).

Além disso, já no sistema convencional adotara-se a camada de 0,0-0,2 m de solo tanto para recomendação quanto para incorporação de corretivos em preparo convencional, sendo comum encontrarem-se baixos teores de bases e teores tóxicos de Al³⁺ na solução, abaixo dessa profundidade (Chaves et al., 1988; Pavan et al., 1984). Dessa forma, pode-se dizer que esse gradiente decrescente de fertilidade no perfil do solo gerada no sistema convencional, continua existindo no sistema de semeadura direta e, muitas vezes, a partir de profundidades ainda menores.

Assim, surge a necessidade do aprimoramento de técnicas que possuam ação complementar àquela promovida pela calagem. Nesse sentido, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), um subproduto da fabricação de ácido fosfórico, por sua alta solubilidade em relação ao calcário, movimenta-se ao longo do perfil sob influência do excesso de umidade, melhorando o ambiente radicular em subsuperfície por meio do aumento nos teores de Ca^{2+} e redução da toxidez de alumínio, o que favorece o desenvolvimento de plantas com sistema radicular mais amplo, que exploram um volume maior de solo, e podem aproveitar melhor a água e os nutrientes das camadas mais profundas. Dessa forma, a aplicação de gesso pode promover uma melhoria na recuperação de nutrientes ao longo do perfil do solo, especialmente nitrogênio, que na forma de nitrato (N-NO_3^-) geralmente fica retido nas camadas subsuperficiais do solo (Raij, 2008).

Benefícios do gesso sobre a fertilidade do solo têm sido relatados em vários estudos com PD. Caires et al. (2004) avaliaram o uso de gesso em Latossolo Vermelho distrófico, observando elevação dos teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} do solo. Rampim et al. (2011), em Latossolo Vermelho argiloso, observaram elevação dos teores de Ca^{2+} e da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo com a gessagem. Caires et al. (2011), aplicando até 12 Mg ha^{-1} de gesso em Latossolo Vermelho argiloso de alta fertilidade inicial (0,0-0,4 m), observaram maior relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ e maiores teores de P na superfície e de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} em subsuperfície.

O uso de gesso também traz mobilização de magnésio de camadas superficiais para camadas mais profundas do solo (Caires et al., 1999; Caires et al., 2004; Foloni et al., 2008), sendo importante adotar estratégias para reduzir ou compensá-la, principalmente quando as doses de gesso são elevadas e os teores iniciais de Mg^{2+} estão próximos do nível crítico na superfície. Nesse sentido, pressupõem-se que o uso de calcário dolomítico pode garantir maiores teores de Mg^{2+} em superfície (Caires et al., 2003), sobretudo em PD.

A aplicação do gesso agrícola na agricultura foi intensamente estudada na década de 1980, em função da grande quantidade produzida no Brasil, reflexo do grande consumo de fertilizantes fosfatados, dos quais o gesso é subproduto. No entanto, ainda não há consenso sobre as situações em que se podem esperar efeitos benéficos do gesso, nem quais seriam as doses ideais para que esses efeitos fossem alcançados, especialmente quando o sistema inclui a presença do animal como parte integrante, pois à medida que aumenta-se o grau de intensidade de exploração de sistemas agropecuários, informações mais precisas são demandadas para assegurar a sustentabilidade, prevalecendo a carência de pesquisas que procuram integrar as três dimensões solo-planta-animal, e que estas sejam avaliadas em sistemas de cultivo ao longo do tempo. Contudo, sabendo-se da sua capacidade de melhorar o

ambiente radicular de subsolos ácidos e fornecer nutrientes para as culturas, a gessagem pode ser uma técnica de grande valor, tendo em vista a crescente adoção de PD e que os solos ácidos ocupam cerca de 25,9% da área total de solos no mundo (Eswaran et al., 1997).

Além disso, a experimentação regionalizada possibilita a identificação dos principais parâmetros, incluindo: as condições edafoclimáticas, a espécie, a cultivar utilizada, entre outros fatores a serem considerados para que efeitos benéficos da gessagem sejam alcançados, permitindo recomendações mais seguras e confiáveis. Portanto, faz-se necessário estudar a ação do gesso agrícola sobre a fertilidade dos solos da região, bem como conhecer os seus efeitos sobre a nutrição e a produtividade das espécies mais utilizadas nos sistemas de rotação de culturas.

2.6 UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DAS CULTURAS

A produtividade das culturas têm apresentado resultados variáveis à gessagem. De maneira geral, poáceas como milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) e cevada (*Hordeum vulgare*) apresentam acréscimos de produtividade em resposta à aplicação de gesso (Vilela et al., 1995; Rashid et al., 2008; Caires et al., 2001;), enquanto fabáceas como feijão (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max* L. Merrill.) não têm apresentado respostas em produtividade (Quaggio et al., 1993; Soratto et al., 2010). Para a nutrição das culturas, os resultados da aplicação de gesso, por sua vez, têm apresentado variabilidade, tendo sido relatadas alterações nos teores de nutrientes nos tecidos tanto em poáceas quanto em fabáceas. Os resultados mais comumente citados são a elevação de teores foliares de Ca e S (Soratto & Crusciol, 2008; Silva et al., 1997) e diminuição nos teores de Mg (Caires et al., 2003).

Os efeitos do gesso agrícola sobre os atributos químicos do solo, embora variáveis em intensidade, têm-se repetido nos estudos realizados, com relatos frequentes da ocorrência de elevação nos teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} e lixiviação ou mobilização de Mg^{2+} (Quaggio et al., 1993; Toma et al., 1999; Caires et al., 2003; Rampim et al., 2011). No entanto, até o presente, há carência de estudos que avaliam a aplicação de gesso em sistemas integrados de produção, o que justifica a realização de trabalhos envolvendo essa temática, uma vez que a presença de animais em pastejo altera a dinâmica dos nutrientes no sistema e sua distribuição em profundidade.

As pastagens, por exemplo, têm maior capacidade de extração de nutrientes em maior profundidade do que as demais culturas de interesse comercial. Dessa forma, os nutrientes lixiviados abaixo da principal camada de raízes das espécies de menor porte podem ser

absorvidos pelas forrageiras e depositados na superfície na forma de matéria seca e a partir do momento que esta inicia sua decomposição, libera os nutrientes para serem utilizados pelas espécies subsequentes. Outra importante característica dos animais na reciclagem de nutrientes, é que as porções da planta, quando ingeridas, são reduzidas em tamanho nos processos de mastigação e ruminação, de modo que, quando excretadas, são mineralizadas mais rapidamente. Esse processo contribui também para aumentar a diversidade de microrganismos no solo e acelerar a decomposição dos materiais e a disponibilidade de nutrientes a ser utilizados pela planta (Archer & Smeins, 1991).

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 799-806, 2003.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, p. 359-367, 2004.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: Novais, R. F., Alvarez, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Eds), Fertilidade do Solo, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p. 873-928.

ANGUINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C.; SOUZA, E. D.; CONTE, O.; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Fertilidade do solo em plantio direto**. Ponta Grossa: AEAGPG, 2011, p. 1-31.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, 2011.

BALBINOT JR. A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p. 1925-1933, 2009.

BAZIRAMAKENGA, R.; SIMARD, R. R. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. **Journal of Environmental Quality**, 27, p. 557-561, 1998.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p. 213-223, 2001.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.97, p. 791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisoil under no-till cropping system. . **Scientia Agricola**, v. 68, p. 45-53, 2011.

CANTARELLA, H. **Calagem e adubação do milho**. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p. 147-196.

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p. (Tese de Doutorado).

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p. 469-476, 1988.

DURIEUX, R. P.; JACKSON, W. A.; KAMPRATH, E. J.; MOLL, R. H. Inhibition of nitrate uptake by aluminium in maize. **Plant and Soil**, v.151, p. 97-104, 1993.

DURING, C. **Fertilisers and soils in New Zealand Farming**. Wellington: Government Printer, 1984.

EDWARDS, W. M.; NORTON, L. D.; REDMOND, C. E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 483-487, 1988.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v. 1, n. 4, p. 825-831, 2001.

ESWARAN, H.; REICH, P. F.; BEINROTH, F. H. Global distribution of soils with acidity. In: **Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production**. Proceedings of the 4th International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Minas Gerais, Brazil, 1997. p. 159-164.

FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2385-2396, 2008.

FOY, C. D. **Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil**. In: ADAMS, F. (Ed.). Soil acidity and liming. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 57- 97.

FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; CRESTE, J. E.; SALVADOR, J. P. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **Colloquium Agrariae**, v. 4, p. 27-35, 2008.

FURLANI, P. R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: DECHEN, A. R.; CAEMELLO, Q. A. C.; FLOSS, E. L. (Coord.). SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 73-90.

GOODROAD, L. L.; JELLUM, M. D. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. **Plant Soil**, 106, p. 85-89, 1988.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances Agronomy**, v. 37, p. 249-315, 1984.

GAHOONIA, T.S. Influence of root-induced pH on the solubility of soil aluminium in the rhizosphere. **Plant and Soil**, v.149, p. 289-291, 1993.

HELYAR, K. R; CONYERS, M. K, CULLIS B. R; Li G. D. **Managing Acid Soils Through Efficient Rotations**. Final Report to IWS (International Wool Secretariat), 1997.

HINSINGER, P.; PLASSARD, C.; TANG, C.; JAILLARD, B. Origins of root-induced pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. **Plant Soil**, v. 248, p. 43-59, 2003.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Revision of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 46, p. 237-260, 1995.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Anda, 2004. 110p.

LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos de química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.

LUTZ Jr., J. A.; GENTER, C.F.; HAWKINS, G. W. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize: I. P, K, Ca, Mg and Na. **Agronomy Journal**, v. 64, p. 581-583, 1972.

MA, J. F.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organics acids. **Trends in Plant Science**, v. 6, p. 273-278, 2001.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1995. 889p.

MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. *In vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. **Z. Pflanzenphysiol.**, v.111, p. 241-251, 1983.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Ces Revista**, v. 24, n.1, p. 13-29, 2010.

MILLER, D. E. Root systems in relation to stress tolerance. **HortScience**, v.21, p. 963-970, 1986.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Inf. Agron., v. 92, p. 1-8, 2000.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production, **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p. 33-38, 1984.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25, p. 885-895, 2001.

PEARSON, R. G. Acids and Bases. **Science**, v. 15, p. 172-177, 1966.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 675- 684, 1998.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B van.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 233p.

RAIJ, B. van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI Jr., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

RASHID, M.; IQBAL, M. N.; AKRAM, M.; ANSAR, M.; HUSSAIN, R. Role of gypsum in wheat production in rainfed areas. **Soil & Environment**, v.27, p. 166-170, 2008.

RAMPIM, L.; LANA, M do, C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKY, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v. 30, p. 263-268, 2000.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, p. 378-382, 1982.

RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Plant-induced pH changes in the rhizosphere of Fe-efficient and Fe-inefficient soybean and corn cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 7, p. 623-630, 1984.

RODRIGUES C. A. F. **Interação solo-planta-animal e impacto da reciclagem do nitrogênio e do fósforo em pastagem**. Universidade Federal de Viçosa – Centro de ciências agrárias – Departamento de Zootecnia, Viçosa - MG, 2000.

RODRIGUES, A. M.; CECATO, U.; FUKUMOTO, S. G.; SANTOS, G. T.; BARBERO, L. M. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagens

de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.6, p. 990-997, 2008.

SÁ, J. C. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L. R.G. FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Eds.) Interrelações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS/UFLA, 1999. p. 267-319.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução do solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, v. 1, p. 9-13, 1999.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van.; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v.56, p. 389-401, 1997.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 275-374, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C; MELLO, F. F de. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v.69, p. 965-974, 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, RS: SBCS/Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 394p.

SOUTO, M. S. **Pastagens de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: produção de leite e características do solo**. 80 f. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 205- 274, 2007.

SOUZA, L. H.; NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H.; VILLANI, E. M., A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de Plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1641-1652, 2010.

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2613-2620, 2008, Número Especial.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. São Paulo, Artmed, 2004. 719p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **J. Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TOMA, M.; SUMNER, M.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long-term Effects of Gypsum on Crop Yield and Subsoil Chemical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 891-895, 1999.

VILELA, L.; RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. Resposta da soja e do milho ao enxofre num Latossolo vermelho-escuro sob vegetação do cerrado do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 281-285, 1995.

CAPÍTULO II

3 ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUÇÃO FORRAGEIRA DE AVEIA E AZEVÉM EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE

Nutrients accumulation and forage production of oat and ryegrass as affected by the application of lime and gypsum on soil surface

RESUMO

A calagem e a aplicação de gesso levam a modificações químicas no solo que podem influenciar o crescimento e desenvolvimento de pastagens anuais de inverno. Com o objetivo de avaliar o efeito da utilização de calcário e gesso em superfície, na presença e ausência de pastejo, sobre a produção de matéria seca e a acumulação de nutrientes da mistura forrageira de aveia e azevém realizou-se um ensaio num Latossolo Bruno álico em Guarapuava - Paraná, Brasil. Os tratamentos, dispostos em blocos completos casualizados, em parcelas subdivididas com quatro repetições, constaram de dois sistemas de manejo (com e sem pastejo) nas parcelas e da aplicação de doses de calcário, com ou sem a utilização de gesso em superfície, nas subparcelas. A aplicação de calcário não afetou a produção de matéria seca nem a composição botânica da consorciação de aveia e azevém, quer na presença quer na ausência de gesso, assim como não alterou os teores de nutrientes na parte aérea das plantas em ambos os sistemas de manejo. Comparando os sistemas de produção, o pastejo afetou negativamente os parâmetros estudados, contudo, note-se que não foi tida em conta a quantidade de excrementos passíveis de decomposição rápida que podem ser utilizadas pela cultura seguinte.

Palavras-chave: acidez do solo, calagem, nutrição mineral

ABSTRACT

The growth and development of annual winter pastures can be affected by chemical modifications of the soil profile owing to lime and gypsum applications. The objective was to evaluate the effect of the use of lime and gypsum applied on soil surface, in the presence and absence of grazing, on dry matter production and nutrient accumulation of forage oat mixture over ryegrass, performed in an experiment carried out on an Oxisol Alic in Guarapuava, Paraná, Brazil. The treatments were arranged in complete randomized blocks in a split plot design with four replications, consisting on two management systems (with and without

grazing) in the plots, and the use of limestone rates, with or without surface application of gypsum, in the subplots. Liming did not affect dry matter yield and botanical composition of the oat and ryegrass consortium in both the presence and absence of gypsum, and did not alter the levels of nutrients in the shoots in both management systems. For the production systems, the grazing affected negatively the studied characteristics; however it was not taken into account the amount of excrements readily decomposable that could be use by the following culture.

Keywords: soil acidity, liming, mineral nutrition

3.1 Introdução

No sul do Brasil, o cultivo de cereais de inverno tem diminuído devido aos custos de produção, à falta de garantias de comercialização e aos riscos associados à exposição a adversidades climáticas, predominando a implantação de culturas com a finalidade específica de produção de palha. Assim, a gestão dessas extensas áreas, usadas unicamente com lavoura no verão e culturas para cobertura do solo no inverno, de forma integrada com a pecuária, pode constituir uma fonte alternativa de rentabilização das propriedades rurais, diminuindo os riscos associados ao agronegócio. Contudo, a adoção de sistemas de cultivo mais complexos, onde a sincronia entre o que é libertado pela ciclagem dos resíduos e o que é suprido pelo solo é alterada pela deposição de excrementos de origem animal, obriga a rever as práticas e as recomendações tradicionais de adubação e calagem, visando uma maior eficiência de utilização dos nutrientes no sistema.

Tradicionalmente, sabe-se que a produtividade das culturas é condicionada pelas características genéticas de cada espécie vegetal, contudo, pode ser influenciada por fatores químicos e físicos do solo (Rosolem *et al.*, 2007). Considerando que no Brasil mais de 70% da área total é ocupada por solos ácidos (Quaggio, 2000) e que isso confere características limitantes ao crescimento radicular e consequentemente há uma menor capacidade de absorção de água e nutrientes, a correção da acidez e o fornecimento de nutrientes ao solo tornam-se imprescindíveis, especialmente em regiões onde as culturas são frequentemente afetadas pela deficiência hídrica.

A aplicação de corretivos, como o calcário e o gesso, apresenta-se como uma alternativa potencialmente capaz de aumentar a estabilidade da produção e a manutenção de altos índices de produtividade nas culturas de sequeiro. Estes corretivos, além de poderem fornecer algum teor de Ca e Mg ao solo, promovem o aumento da disponibilidade de P e

reduzem a de Al e Mn. No caso específico da aplicação do sulfato de cálcio, pode conseguir-se um aumento dos teores de S, elemento cuja deficiência se tem intensificado nalgumas regiões devido ao uso intensivo de adubos altamente concentrados.

Em relação aos efeitos da correção do solo na subsuperfície, a aplicação de gesso juntamente com calcário tem sido apontada por diversos autores como fonte de nutrientes e alternativa na melhoria do ambiente radicular em profundidade nos primeiros anos de cultivo, época em que a ação do calcário, por ser pouco solúvel e apresentar baixa mobilidade no solo, ainda não atingiu as camadas subsuperficiais (Caires *et al.*, 2003; Pavan, 1994). Por outro lado, a baixa solubilidade do calcário ($0,02 \text{ g L}^{-1}$), teoricamente, poderia ser compensada pela sua alta concentração na superfície do solo favorecendo a descida desse corretivo.

Além disso, de acordo com Flores *et al.* (2008), a integração lavoura-pecuária, através da presença de bovinos em pastejo em áreas de sementeira direta, incrementaria os efeitos da calagem superficial em profundidade, favorecendo a descida de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo, pela formação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, quer libertados durante a decomposição dos resíduos animais, principalmente fezes, quer provenientes da exsudação de compostos orgânicos da aveia e do azevém, sob influência do pastejo. Desta forma, a aplicação superficial de corretivos ao solo pode reduzir a acidez e melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo (Rheinheimer *et al.*, 2000; Caires *et al.*, 2003; Caires *et al.*, 2004; Caires *et al.*, 2005), podendo também interferir na produção de biomassa e na acumulação de nutrientes pelas pastagens anuais de inverno.

Em estudos feitos por Rheinheimer *et al.* (2000) e Soratto *et al.* (2008) não foram observados quaisquer efeitos na produção de matéria seca da aveia-preta quando a aplicação de calcário à superfície e a sementeira direta deste foram feitos em simultâneo. Contudo, Caires *et al.* (2004) e Caires *et al.* (2002) verificaram que com a aplicação superficial de calcário ou de gesso foi possível manter ou mesmo aumentar os rendimentos das culturas. No entanto, não existem trabalhos de investigação envolvendo o sistema solo-planta-animal no que se refere à produção de biomassa e à concentração de nutrientes, em função da aplicação de calcário e gesso em superfície, considerando que a presença dos animais, como parte do ciclo biogeoquímico, aumenta os níveis de complexidade dos processos envolvidos na movimentação das partículas finas e nutrientes no perfil do solo (Cassol, 2003).

Nestes pressupostos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de calcário e gesso em superfície, em dois sistemas de manejo (com e sem pastejo), sobre a composição botânica, a nutrição e produção de matéria seca da consorciação aveia e azevém.

3.2 Material e Métodos

O ensaio foi realizado no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), município de Guarapuava, Paraná, localizado a 25° 33' latitude Sul e 51° 29' longitude Oeste, na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, com uma altitude média de 1100 m. O solo é classificado como Latossolo Bruno álico, com relevo suave ondulado, substrato de rochas basálticas (Embrapa, 2006). O solo apresenta textura argilosa, com granulometria de 624 g kg⁻¹ de argila, 311 g kg⁻¹ de silte e 80 g kg⁻¹ de areia. O clima da região, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfb (Maak, 1968), com verões amenos e sem estação seca definida. Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 1.

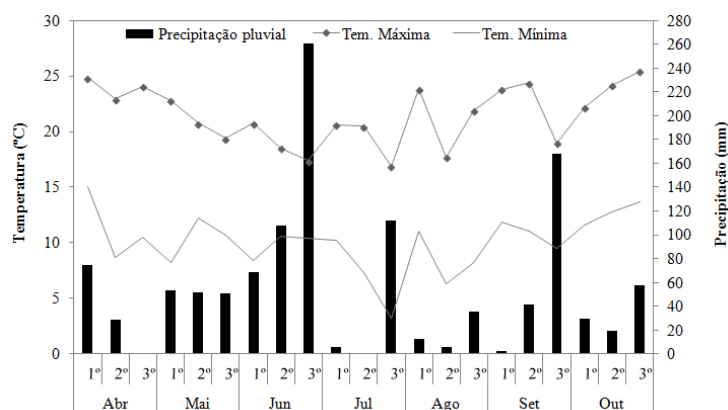


Figura 1 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de condução do ensaio

Na área do ensaio, desde há sete anos que se realiza integração lavoura-pecuária com forrageiras de inverno, aveia (*Avena strigosa* Schreb.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), pastejada por ovinos e, no verão, cultivo de milho e feijão, em anos intercalados.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados num esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas (45 x 22m) foram constituídas pelos sistemas de produção (com e sem pastejo), e nas subparcelas (11,25 x 5,5m) foram efetuados os seguintes tratamentos: T1- dose padrão de calcário recomendada pela CQFSRS/SC (2004) para elevar a saturação por bases a 70%, T2 - dobro da dose de calcário definida de acordo com o método da elevação da saturação por bases para 70 %, T3 - dose padrão de calcário associada com a aplicação de 4000 kg ha⁻¹ de gesso em superfície e T4 - dobro da dose padrão de calcário, associada com a aplicação de 4000 kg ha⁻¹ de gesso em superfície. A dose de gesso utilizada foi calculada de acordo com as recomendações de Michalovicz (2013) e as de calcário foram estimadas individualmente para cada subparcela, com base em amostras de solo colhidas na camada de 0-20 cm (Quadro 1). As análises

químicas, realizadas antes da instalação do ensaio, seguiram a metodologia oficial para o estado do Paraná (Pavan *et al.*, 1992), sendo o P extraído por Mehlich I e os parâmetros para interpretação da análise de solo, assim como as doses de calcário aplicadas, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química dos solos melhorados, na camada de 0-20 cm, nas áreas com e sem pastejo, antes da instalação do ensaio e, doses correspondentes de calcário utilizadas nas subparcelas.

		Pastejo	pH	MO	P	Al	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	V%	Dose
			CaCl ₂	g dm ³	mg dm ³	-----cmol dm ³ -----							Mg ha ⁻¹
1*	Calcário	Com	5,35	44,30	19,90	0,05	0,87	4,42	2,43	4,78	12,48	61,62	1,31
2			5,17	44,30	12,44	0,08	0,92	4,62	2,93	4,87	13,33	62,79	1,20
3			4,86	43,96	4,87	0,00	0,54	3,59	2,75	5,33	12,22	56,09	2,12
4			5,11	42,62	16,17	0,00	0,92	4,24	3,02	4,58	12,75	63,88	0,98
1		Sem	5,08	43,63	6,94	0,20	0,92	4,02	2,89	5,05	12,88	60,71	1,50
2			4,97	43,29	11,34	0,00	0,83	3,35	3,53	5,55	13,26	58,11	1,97
3			5,33	44,23	9,69	0,00	0,87	4,46	2,78	4,16	12,27	65,94	0,92
4			5,14	44,63	13,49	0,00	0,87	4,41	2,25	4,56	12,09	62,05	1,20
1	Dobro de calcário	Com	5,18	44,63	11,62	0,12	0,84	3,88	2,60	4,87	12,19	59,72	3,13
2			4,91	45,30	7,60	0,05	0,71	3,36	2,96	5,37	12,40	56,40	4,22
3			4,85	44,63	5,75	0,00	0,72	3,12	3,34	5,85	13,03	54,82	4,94
4			5,32	44,30	12,74	0,00	0,79	4,61	2,94	4,05	12,39	67,21	0,86
1		Sem	5,13	44,30	5,40	0,00	0,43	3,90	2,38	4,77	11,47	58,34	3,34
2			5,42	44,30	13,34	0,00	0,94	4,30	3,61	4,30	13,15	67,12	0,95
3			5,18	43,63	11,49	0,00	0,99	3,88	2,58	4,72	12,18	60,70	2,83
4			5,13	47,99	2,26	0,00	0,68	3,72	3,93	5,18	13,50	61,60	2,84
1	Calcário + Gesso	Com	5,21	43,29	10,63	0,00	0,77	4,46	2,81	5,12	13,15	60,99	1,48
2			4,87	45,30	7,32	0,05	0,60	3,55	2,92	5,77	12,84	54,96	2,41
3			4,88	44,30	12,60	0,00	0,97	3,60	2,81	5,39	12,75	57,49	1,99
4			5,30	44,63	10,87	0,00	1,04	3,98	2,98	4,73	12,72	62,81	1,14
1		Sem	5,02	42,28	2,98	0,00	0,43	3,57	2,19	5,82	11,99	51,45	2,78
2			5,07	44,97	7,98	0,00	0,77	3,82	2,87	4,71	12,16	61,23	1,33
3			5,34	43,29	10,13	0,00	0,89	4,17	3,07	4,58	12,71	63,55	1,02
4			5,10	45,97	7,68	0,00	0,90	4,10	2,80	5,32	13,11	58,95	1,81
1	Dobro de Calcário + Gesso	Com	5,22	44,63	15,05	0,00	0,90	4,21	3,11	5,11	13,33	61,43	2,86
2			4,94	43,96	6,34	0,00	0,58	4,04	2,74	5,39	12,75	56,76	4,22
3			5,01	44,30	8,31	0,00	0,85	3,73	3,16	5,07	12,80	60,16	3,15
4			5,18	43,63	10,31	0,00	0,89	4,11	2,28	5,01	12,28	58,85	3,42
1		Sem	5,04	42,28	4,95	0,00	0,71	3,31	3,02	4,93	11,97	58,79	3,35
2			5,23	43,29	9,86	0,00	0,80	3,92	2,40	4,83	11,94	59,24	3,21
3			5,30	42,95	11,74	0,00	0,62	4,38	2,68	4,46	12,15	62,59	2,25
4			4,96	44,97	8,49	0,00	0,70	3,67	3,31	5,67	13,35	57,52	4,17

*Os valores 1, 2, 3 e 4 referem-se às unidades experimentais em conformidade com os respectivos tratamentos.

No dia 5 de julho de 2013 procedeu-se à instalação do ensaio. Fez-se sementeira direta de 80 kg ha⁻¹ de aveia-branca (*Avena sativa* L.) e 40 kg ha⁻¹ de azevém-comum (*Lolium multiflorum* Lam.), o espaçamento entre as linhas foi de 17 cm. A adubação de base foi de 250 kg ha⁻¹ de 0-25-25 (N, P₂O₅, K₂O) e em cobertura foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de azoto. A cultura anterior foi o feijoeiro.

Tabela 2 - Níveis de alguns componentes do solo para efeito da interpretação de resultados de análise química

Níveis	pH	MO	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	----mg dm ⁻³ ----		-----	-----	cmol dm ⁻³ -----		
Muito baixo	≤5	-	≤2	≤ 20	-	-	-	-	<45
Baixo	5,1-5,4	≤25	2,1-4,0	21-40	<0,02	≤ 2	≤ 0,5	≤ 5	45-64
Médio	5,5-6,0	26-50	4,1-6,0	41-60	0,02-1,5	2,1 - 4,0	0,6-1,0	5,1-15,0	65-80
Alto	>6,0	>50	6,1-12	61-120	>1,5	> 4,0	> 1,0	>15	>80
Muito alto	-	-	> 12	>120	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de SBCS (2004).

Nas áreas pastejadas utilizaram-se cordeiros da raça Ile de France em regime rotacional, com entrada dos animais sempre que a manta forrageira atingia 25 cm de altura e retirada quando a cobertura vegetal apresentava em média 15 cm, permanecendo nas parcelas por um período aproximado de 24 horas. Semanalmente eram realizadas as avaliações de altura das plantas com um bastão graduado (*Sward stick*), para determinar o momento de entrada e saída dos animais das subparcelas. Todos os tratamentos proporcionaram quatro ciclos de pastejo que ocorreram próximos dos dias 01/07, 09/08, 02/09 e 24/09/2013.

As variáveis avaliadas nesta experiência foram a produção de matéria seca total da pastagem (MST, kg MS ha⁻¹), produção de matéria seca residual da pastagem (MSR, kg MS ha⁻¹), teor de macro e micronutrientes na matéria seca residual da pastagem (kg ha⁻¹), taxa de acumulação de forragem (TA, kg MS ha⁻¹ dia⁻¹), taxa de desaparecimento da forragem (kg por 100 kg de peso vivo por dia), composição botânica (%) e índice de nutrição da pastagem (kg ha⁻¹).

Para a determinação da produção de matéria seca total (MST), nos tratamentos pastoreados, foi feita a medição da massa de forragem nas condições de pré e pós-pastejo, por meio do corte, rente ao solo, das plantas contidas em dois quadrados de 0,25 m², sendo retirada uma subamostra para separação manual e avaliação da composição botânica da pastagem. As amostras após colheita foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até peso constante. A acumulação de forragem (kg MS ha⁻¹) foi calculada a partir da diferença entre a massa de forragem num pré-pastejo e no pós-pastejo anterior. A taxa de acumulação de matéria seca da pastagem (kg MS ha⁻¹ dia⁻¹) foi obtida pela divisão da produção de forragem pelo número de dias do período de descanso da pastagem, sendo a produção de matéria seca total, no período experimental, calculada pelo somatório da acumulação parcial de forragem em cada ciclo de pastejo e a produção de matéria seca residual (MSR). A taxa de desaparecimento de forragem foi calculada de acordo com a seguinte equação: $TDF = [MF_{pré} + (TAFp) - MF_{pós}]/DL$, em que TDF é a taxa de desaparecimento de forragem em kg por 100 kg de peso vivo por dia; MF_{pré} é a massa de

forragem no pré-pastejo em kg ha^{-1} ; TAFp é a taxa média, em kg ha^{-1} , de acumulação de forragem, durante o pastejo; MFpós é a massa de forragem no pós-pastejo em kg ha^{-1} ; DL é a densidade de encabeçamento em 100 kg de peso vivo por hectare.

Para os tratamentos sem pastejo, a avaliação da produção de matéria seca total e a determinação da composição botânica foram realizadas no final do ciclo da consorciação, tendo-se escolhidos aleatoriamente dois pontos por parcela de área $0,25 \text{ m}^2$ ($0,5 \times 0,5 \text{ m}$), onde as plantas amostradas foram cortadas rente ao solo. Estas amostras, assim como as obtidas na avaliação de pré-pastejo, foram pesadas e após secagem foram moídas em moinho tipo Willey e crivadas a 1mm para posterior análise química (para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), pelo método sugerido por Malavolta (1997). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e para a separação das médias, usou-se o teste Tukey com nível de significância de ($p < 0,05$), para tal recorreu-se ao software Genes (Cruz, 2006).

3.3 Resultados e Discussão

A aplicação de calcário assim como a de gesso não influenciou a produção de matéria seca da parte aérea da mistura aveia e azevém (Tabela 3). Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Soratto *et al.* (2008), que avaliando a influência da utilização de diferentes doses de calcário e a aplicação de gesso na implantação de um sistema de sementeira direta verificaram que apesar de ter havido melhoria das características químicas do solo, a aplicação de calcário em superfície não afetou a produção de matéria seca da aveia-preta, tanto na presença como na ausência de gesso. Num estudo efetuado por Caires *et al.* (1999), usando as culturas de soja, trigo e milho cultivadas em sistema de rotação e num solo com acidez superior à do presente trabalho, verificou-se que a aplicação superficial de diferentes doses de calcário apenas conduziu a um aumento na produção de milho e só no tratamento com calcário associado ao gesso.

Tabela 3 - Produção de massa seca total (kg MS ha⁻¹), matéria seca residual (MSR, kg MS ha⁻¹), taxa de acumulação de matéria seca (TA, kg ha⁻¹ dia⁻¹) e taxa de desaparecimento de forragem (TDF, kg por 100 kg de peso vivo dia⁻¹) em diferentes sistemas de produção (com e sem pastejo) e aplicações de calcário e gesso em superfície

Tratamentos	MS Total (kg MS ha ⁻¹)	MSR (kg MS ha ⁻¹)	TA (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	TDF (kg/100 kg PV dia ⁻¹)		
Aplicação de calcário e gesso						
Calcário	9817,9	4093,7	67,2	9,8		
Calcário + Gesso	8885,4	4285,6	60,1	10,4		
Dobro de calcário	9148,5	4002,5	65,6	8,3		
Dobro de calcário + Gesso	9192,3	3868,4	63,8	9,5		
Efeito	ns	ns	ns	ns		
C.V (%)	15,5	14,8	17,9	27,7		
Sistemas de Produção						
Com pastejo	7565,8	b	1.979,1	b	57,6 b	-
Sem pastejo	10956,3	a	6.146,1	a	71,0 a	
DMS (P < 0,05)						
C.V (%)	13,0		16,2		19,6	

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns= não significativo.

O tratamento com calcário não afetou a produção de matéria seca. Este facto pode atribuir-se, por um lado, aos médios a altos teores de nutrientes e de matéria orgânica e à consequente formação de complexos orgânicos solúveis, os quais exercem efeitos positivos sobre a acidez do solo (Miyazawa *et al.*, 1996), por outro lado pode estar relacionado com o tamponamento do pH, por efeito do possível excesso de calcário aplicado, especialmente nas camadas superficiais, que resultaria na diminuição da disponibilidade de micronutrientes no solo e consequente desequilíbrio nutricional nas plantas.

Em relação à ausência de efeito na produção de biomassa com a adição de gesso esta pode estar relacionada com a disponibilidade hídrica, já que durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foram registrados 1186 mm de chuvas. Além disso, a pastagem foi semeada após a cultura do feijão, cujos resíduos (parte aérea e raízes) apresentam baixa relação C/N, e dessa forma, podem ter disponibilizado rapidamente os nutrientes, especialmente N, para as plantas, favorecendo o seu desenvolvimento.

É importante ressaltar que em termos de médias de produção a pastagem de aveia e azevém apresentou elevados rendimentos de matéria seca, com valores bastante superiores aos 4296 a 6505 kg ha⁻¹, encontrados por Assmann *et al.* (2004), em sistema com pastejo contínuo no sul do Paraná, e aos 4993 kg ha⁻¹ de aveia-preta sob cortes e com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N, relatados por Moreira *et al.* (2001).

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3, constatou-se uma influência dos

sistemas de produção sobre a quantidade de matéria seca total, tendo-se registado valores significativamente mais baixos nas áreas pastejadas. Avaliando diferentes intensidades de pastoreio em sistema rotativo, Adami *et al.* (2014) observou resultados semelhantes. Contudo, deve-se considerar que no inverno, nas áreas pastoreadas, além do potencial de produção animal ser superior a 300 kg ha⁻¹ de peso vivo (Nicoloso *et al.*, 2006), grande parte (70 a 95%) dos nutrientes presentes na forragem consumida retornam à pastagem na forma de dejetos, que são prontamente decomponíveis para serem utilizadas pela cultura seguinte (Haynes e Willians, 1993).

No que se refere à taxa de desaparecimento de forragem, não se verificaram diferenças significativas por efeito dos tratamentos, sendo o valor médio de 9,5 kg de MS/100 kg de peso vivo por dia. Embora o desaparecimento de matéria seca inclua, além do consumo, perdas de matéria seca por pisoteio e senescência, que não foram avaliadas, pode ser um indicativo do nível de consumo dos animais em pastejo.

Sabe-se que a quantidade de biomassa remanescente pós-pastejo é uma questão chave no manejo de sistemas integrados de produção, uma vez que a adição e manutenção de resíduos vegetais para a cobertura do solo é de extrema importância no aumento da infiltração e armazenamento de água no solo, diminuindo, dentro de certos limites, o escoamento superficial e a erosão hídrica, aumentando assim a segurança e sustentabilidade do sistema ao longo do tempo (Lopes *et al.*, 2009). Num trabalho efetuado por Flores *et al.* (2007), não se observaram diferenças nas características físicas do solo em áreas com pastejo e matéria seca residual de cerca de 2000 kg ha⁻¹ de MS, não havendo prejuízos para a cultura subsequente. Em relação à biomassa residual (Tabela 3), os valores obtidos neste ensaio são semelhantes aos que Silveira *et al.* (2012) e Adami (2012) obtiveram, evidenciando diminuição na matéria seca residual de aveia e azevém nos tratamentos sujeitos a pastejo, quando comparados com sistemas envolvendo forrageiras apenas para cobertura de solo. Apesar das menores quantidades médias de resíduo vegetal na presença de animais em pastejo, deve considerar-se que nas áreas pastoreadas, além do coberto vegetal, os animais conseguem converter os nutrientes obtidos via forragem consumida em excrementos prontamente decomponíveis para ser utilizadas pela cultura seguinte.

As quantidades de matéria seca acumuladas diariamente (TA, kg ha⁻¹ dia⁻¹) (Tabela 3), mostraram o mesmo padrão de resposta observado para a matéria seca total, ou seja, os tratamentos com aplicação de calcário e gesso não apresentaram efeito sobre as mesmas, sendo evidenciadas diferenças significativas apenas entre os diferentes sistemas de produção, com a maior taxa nas áreas sem pastejo, pois o pico de acumulação de matéria seca, nesse

caso, ocorre nos meses de agosto e setembro, sendo que após este período, a taxa de crescimento diminui em função do aumento nas taxas de respiração, resultante de um acréscimo na quantidade de tecidos sem função fotossintética (senescentes), enquanto que nas áreas pastejadas, por apresentarem uma dinâmica de perfilhamento diferenciada, supõe-se que as taxas de acumulação de M.S. se manteriam altas.

Em termos de composição botânica, não se observaram diferenças significativas na predominância das espécies, em função dos tratamentos envolvendo a utilização de calcário e gesso.

Ao longo do ciclo da pastagem (Tabela 4) registaram-se diferenças significativas da composição botânica, quer para as diferentes datas de colheita quer para os sistemas de produção. No período inicial de desenvolvimento da pastagem, observou-se dominância de aveia, decorrente da sua precocidade, estrutura e disposição de folhas que promovem maior participação nas camadas mais altas de estrutura da pastagem; ao longo do período de avaliação ocorreu um decréscimo da participação da aveia e acréscimo na percentagem de azevém e material senescente. O azevém, por ter um ciclo mais longo, aparece com maior intensidade quando a aveia começa a encerrar o seu ciclo. No caso da aveia, a redução ocorreu naturalmente em função da diminuição do número de folhas na estrutura da pastagem com a maturidade das plantas (Pelegrini, 2008) em comparação com o azevém que possui um ciclo mais tardio. Além disso, deve considerar-se que durante a condução do ensaio houve um período (3º decénio de julho - Figura 1) que se caracterizou pela ocorrência de temperaturas abaixo de zero tendo ocasionado a senescência dos perfilhos da aveia, interrompendo o seu desenvolvimento antes mesmo de completar o seu ciclo de crescimento. Assmann *et al.* (2004), trabalhando com uma mistura de aveia, azevém e trevo branco, também observaram predominância da aveia apenas no início do pastejo, reduzindo-se a sua contribuição ao longo do ciclo.

Tabela 4 - Composição botânica (%) de forragem na mistura de aveia branca (*Avena sativa* L.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) ao longo do ciclo da pastagem nos sistemas de produção (com e sem pastejo)

Data de avaliação	Aveia (%)	Azevém (%)	Material senescente (%)
----- Com pastejo -----			
01/07/2013	73,9 a	15,7 b	10,4 b
09/08/2013	8,9 b	68,1 a	23,0 a
02/09/2013	1,1 bc	76,7 a	22,2 a
24/09/2013	0,0 c	80,3 a	19,7 ab
C.V (%)	31,4	11,1	26,1
DMS (P < 0,05)	8,4	13,8	10,1
----- Sem pastejo -----			
31/07/2013	81,6 a	10,2 b	8,2 b
06/10/2013	0,6 b	62,9 a	36,5 a
C.V (%)	15,7	13,0	19,2
DMS	10,2	18,1	15,5

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, para o fator sistemas de produção, diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As concentrações de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas, em geral, não foram influenciadas pela aplicação de calcário e gesso em superfície, e mantiveram-se em níveis considerados normais para a cultura da aveia (Malavolta *et al.*, 1997), provavelmente devido aos teores suficientes desses nutrientes no solo. Estes resultados corroboram com os observados para outras culturas como: sorgo (Raij *et al.*, 1988), milho (Sousa e Ritchey, 1986; Caires *et al.*, 2004) e cevada (Caires *et al.*, 2001), em que também não foram obtidos efeitos da calagem no teor de nutrientes na planta. Da mesma forma, Soratto *et al.* (2008), verificaram que o gesso não exerceu influência na concentração de nutrientes na cultura da aveia-preta em anos com maior disponibilidade hídrica, apesar de elevar os teores de Ca e $S-SO_4^{2-}$ no solo, evidenciando que as maiores respostas da aveia foram sempre observadas em condições de deficiência hídrica, o que não ocorreu no presente trabalho.

De forma geral, os teores de Ca, Mg, Zn, Fe e Mn, nas plantas das áreas pastejadas (Tabela 5), foram influenciados pelas épocas de amostragem, observando-se incrementos na acumulação desses nutrientes nas avaliações realizadas no último decêndio de setembro, em relação às efetuadas no primeiro decêndio de julho.

Tabela 5 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da pastagem de aveia e azevém, na presença de pastejo, em quatro épocas de amostragem após a aplicação de calcário e gesso em superfície.

	N	P	S	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn							
	----- (kg ha ⁻¹) -----					----- (g ha ⁻¹) -----											
01/07/2013	114,9	11,0	17,2	a	82,4	11,1	b	7,3	b	27,3	a	91,7	b	347,8	b	68,3	b
09/08/2013	134,8	13,2	32,4	a	96,6	12,1	a	12,0	a	38,9	a	142,9	ab	1742,0	ab	190,0	ab
02/09/2013	114,9	10,5	26,1	a	88,5	11,9	a	11,5	a	39,8	a	139,4	ab	1720,6	ab	219,2	ab
24/09/2013	140,0	12,8	30,9	a	89,0	12,1	a	11,7	a	43,1	a	156,2	a	2665,9	a	255,1	a
Média	126,1	11,9	26,6		89,1	11,8		10,6		37,3		132,5		1619,1		183,2	
C.V(%)	21,6	20,7	31,3		17,1	20,6		19,0		22,6		21,6		47,2		36,1	
DMS	51,9	4,7	15,9		29,2	0,7		3,8		16,0		54,7		1456,3		126,3	

* médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Admite-se que o pastejo, através da desfolha, favorece a intensa renovação dos tecidos durante a rebentação, o que, provavelmente, estimula a absorção de nutrientes suprimindo as exigências da cultura e que após cada ciclo de pastejo, determinada quantidade de biomassa é mantida, assegurando o rápido restabelecimento da cultura. Assim, podemos inferir que houve um aumento acumulativo desses nutrientes na pastagem com o decorrer do tempo, resultante dos teores presentes no material remanescente acrescidos das quantidades absorvidas pelas plantas durante a fase de rebentação, uma vez que a grande maioria dos nutrientes acima citados apresentam baixa mobilidade nas plantas, acumulam-se em tecidos lignificados e folhas mais velhas, os quais, por sua vez, tendem a permanecer em maiores proporções na composição do material remanescente, devido à seletividade animal e a própria morfologia da cultura.

Da mesma forma, as quantidades de N, P, Ca, Zn, Fe e Mn acumuladas na biomassa (Tabela 6), nas áreas sem pastejo, foram mais elevadas, na segunda época de amostragem, mantendo-se em níveis considerados adequados às necessidades da cultura, em ambos os períodos. Para o K observam-se maiores quantidades acumuladas deste nutriente na primeira época de amostragem. Considerando que se trata de um elemento que forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade, não sendo metabolizado na planta, pode ser facilmente removido dos tecidos vegetais pela ação das chuvas. Conforme referido por Calonego *et al.* (2005), à medida que o estado de senescência das plantas evolui, ocorre aumento na lixiviação de K dos tecidos vegetais, possivelmente devido à desorganização da cutícula, que reveste a epiderme das folhas e constitui uma barreira à penetração de água, ou ainda pela difusão do K dos vacúolos quando a palha está seca, intensificando a lavagem do nutriente (Rosolem *et al.*, 2007). Como, à medida que a cultura avançou no ciclo de desenvolvimento, se verificou um aumento das proporções de material senescente na

pastagem de aveia e azevém (Tabela 4) isto pode ter conduzido à diminuição dos teores de K nas plantas.

Tabela 6 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da pastagem de aveia e azevém na ausência de pastejo, em duas épocas de amostragem após a aplicação de calcário e gesso em superfície

	N		P		S		K		Ca		Mg		Cu		Zn		Fe		Mn	
	----- (kg ha ⁻¹) -----												----- (g ha ⁻¹) -----							
31/07/2013	142,9	b	15,5	b	42,3	a	143,1	a	11,9	b	15,1		34,4	135,4	b	555,8	b	239,5	b	
24/07/2013	181,2	a	18,9	a	48,9	a	102,2	b	13,6	a	15,7		48,9	212,4	a	1927,8	a	388,9	a	
Média	162,1		17,2		45,6		122,7		12,8		15,4		41,7	173,9		1241,8		314,2		
C.V (%)	15,0		12,3		28,3		18,0		16,6		12,7		25,4	17,1		25,0		18,1		
D.M.S	36,2		3,1		19,1		32,6		0,7		2,9		15,7	44,1		460,4		84,4		

* Médias seguidas de letras distintas diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

No que se refere aos sistemas de manejo (Tabela 7), observaram-se diferenças significativas na concentração de alguns nutrientes minerais (P, Ca, Mg, Zn e Mn), registrando-se valores mais elevados no sistema sem pastejo. Este comportamento pode ser explicado pelas observações de Taiz e Zaiger (1991), pelo facto de que dentro da planta nutrientes como o Mn e o Zn são pouco móveis e o Ca ser praticamente imóvel, tendendo a concentrar-se em tecidos mais velhos, visto ser no sistema sem pastejo que a quantidade de matéria senescente é maior (Tabela 4). Sendo assim, o aumento da produção de material estrutural na matéria seca e de compostos de reserva e, ainda, a baixa mobilidade daqueles elementos no floema com o envelhecimento dos perfilhos, explicam os maiores teores destes nutrientes nas parcelas sem pastejo em comparação às áreas pastejadas, onde a constante desfolha promove a intensa renovação dos tecidos. Quanto ao P e ao Mg, normalmente apresentam-se em maiores quantidades em estruturas mais jovens por serem móveis no floema. Contudo, no presente estudo, a concentração destes elementos foi também mais elevada nas áreas não pastejadas. Sendo assim, é possível que as diferenças observadas em termos de nutrição da pastagem nos diferentes sistemas de manejo, estejam associadas às reduções nos teores de nutrientes no solo, em função do método de pastejo adotado (rotacional).

Tabela 7 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe e Mn acumuladas na parte aérea da mistura forrageira de aveia e azevém em áreas com e sem pastejo

	N	P		K	Ca		Mg	S		Cu	Zn		Fe	Mn	
	----- (kg ha ⁻¹) -----									----- (g ha ⁻¹) -----					
Com Pastejo	140,0	12,8	b	89,0	12,1	b	11,7	b	30,9	43,2	156,2	b	2665,9	255,2	b
Sem Pastejo	181,2	18,9	a	102,2	13,6	a	15,7	a	48,9	48,9	212,4	a	1927,8	388,9	a
Média	160,6	15,9		95,6	12,9		13,7		39,9	46,0	184,3		2296,9	322,0	
C.V (%)	18,7	16,9		17,9	17,5		16,7		32,6	20,4	18,3		39,7	22,5	
DMS	44,5	4,0		25,4	0,7		3,4		19,3	13,9	50,2		1354,3	107,5	

* Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

3.4 Conclusão

Nas condições do presente estudo conclui-se que a aplicação de calcário e de gesso não afetaram a produção de matéria seca, a composição botânica da consorciação nem o teor de nutrientes na parte aérea das plantas. Pelo contrário, o facto de haver pastejo afetou negativamente todos os parâmetros estudados, contudo, note-se que não foi tida em conta a quantidade de excrementos prontamente decomponíveis que podem ser utilizadas pela cultura seguinte.

3.5 Referências bibliográficas

- Adami, P.F.; Pelissari, A.; Modolo, A.J.; Franchin, M.F.; Pitta, C.S.R.; Soares, A.B. (2014). Black Oat+Annual Ryegrass Biomass Production and Decomposition Managed at Different Sward Heights on Rotational Grazing. *Journal of Agronomy*, vol. 13, n.2, p.40-48.
- Assmann, A.L.; Pelissari, A.; Moraes, A.; Assmann, T.S.; Oliveira, E.B. e Sandini, I. (2004) - Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 33, n. 1, p. 37-44.
- Caires, E.F.; Fonseca, A.F.; Mendes, J.; Chueiri, W.A. e Madruga, E.F. (1999) - Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 23, n. 2, p. 315-327.
- Caires, E.F.; Blum, J.; Barth, G.; Garbui, F.J. e Kusman, M.T. (2003) - Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.27, n.2, p.275-286.

- Caires, E.F.; Kusman, M.T.; Barth, G.; Garbuió, F.J. e Padilha, J.M. (2004) - Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.28, n. 1, p.125-136.
- Caires, E.F.; Feldhaus, I.C.; Barth, G. e Garbuió, F.J. (2002) - Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia Agricola*, vol. 59, n.2, p. 357-364.
- Caires, E.F.; Feldhaus, I.C. e Blum, J. (2001) - Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, vol.60, n.3, p.213-223.
- Caires, E.F.; Alleoni, L.R.F.; Cambri, M.A. e Barth, G. (2005) - Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agronomy Journal*, v.97, n.3, p.791-798.
- Calonego, J.C.; Rosolem, C.A. e Foloni, J.S.S. (2005) - Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 29, n. 1, p.99-108.
- Cassol, L.C. (2003) - *Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície*. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. 157 p.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 399 p.
- Flores, J.P.C.; Cassol, L.C.; Anghinoni, I. e Carvalho, P.C.F. (2008) - Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, n. 6, p. 2385-2396.
- Flores, J.P.C.; Anghinoni, I.; Cassol, L.C.; Carvalho, P.C.F.; Leite, J.G.D.B. e Fraga, T.I. (2007) - Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 4, p.771-780.
- Haynes, R.J. e Williams, P.H. (1993) - Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, vol. 49, n. 1, p.119-199.
- Lopes, M.L.T; Carvalho, P. C. F; Anghinoni, I.; Santos, D.T.; Aguinaga, A.A.Q.; Flores, J.P.C.; Moraes, A. (2009) - Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do pastejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, vol. 39, n. 5, p. 1499-1506.
- Maak, R. (1968) - *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba. 350p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. e Oliveira, S.A. (1997) - *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos. 319p.

- Miyazawa, M.; Pavan, M.A. e Santos, J.C.F. (1996) - Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: *International symposium on plant-soil interactions at low pH*, 4. Belo Horizonte, 1996. Abstracts. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 142 p.
- Michalovicz, L. (2013) - *Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-oeste, Brasil. 52 p.
- Moreira, F.B.; Cecato, U.; Prado, E.N.; Wada, F.Y.; Rêgo, F.C.A. e Nascimento, W.G. (2001) - Avaliação de aveia preta cv Iapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. *Acta Scientiarum*, vol. 23, n. 4, p. 815-821.
- Nicoloso, R.S.; Lanza Nova, M.E. e Lovato, T. (2006) - Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, vol. 6, n. 6, p.1799-1805.
- Pavan, M. A.; Bloch, M. F. de.; Zempulski, H. da C.; Miyazawa, M. e Zocoler, D.C. (1992) - *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina: IAPAR, 40 p. (IAPAR. Circular 76).
- Pavan, M.A. (1994) - Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 16, n. 1, p.86-91.
- Pelegri ni, L.G. (2008) - *Eficiência da adubação nitrogenada na produção animal e vegetal em pastagem de azevém (Lolium multiflorum Lam.) na terminação de cordeiros*. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Paraná, Brasil. 126 p.
- Quaggio, J.A. (2000) - *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 111p.
- Raij, B.; Cantarella, H.; Furlani, P.R. (1988) - Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 12, n. 1, p.131-136.
- Rheinheimer, D.S.; Santos, E.J.S.; Kaminski, J.; Xavier, F.M. (2000) - Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*, vol. 30, n. 2, p.263-268.
- Rosolem, C.A.; Calonego, J.C.; Foloni, J.S.S.; Garcia, R.A. (2007) - Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após a dessecação química. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 8, p.1169-1175.

- Silveira, E.R.; Pelissari, A.; Moraes, Piazzetta, H.V.L.; Lang, C.R. e Carvalho, P.C.F. (2012) - Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade de milho na integração lavoura pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, n. 4, p. 1323-1332.
- SBCS (2004) Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – *Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10.ed. Porto Alegre, 400p.
- Soratto, R.P. e Crusciol, C.A.C. (2008) - Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. *Ciência Rural*, vol. 38, n. 4, p. 928-935.
- Sousa, D.M.G. e Ritchey, K.D. (1986) - Uso de gesso no solo de cerrado. In: *Seminário Sobre O Uso De Fosfogesso Na Agricultura, 1986*, Brasília, DF. Anais. Brasília: Embrapa-DDT., p. 119-144.
- Taiz, L. e Zeiger, E. (1991) - *Plant physiology*. San Diego: The Benjamin/Cummings. 565 p.

CAPÍTULO III

4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Resumo

Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações dos atributos químicos do solo (pH CaCl_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , S-SO_4^{2-} , V e teor de micronutrientes catiônicos) decorrentes da aplicação de calcário e gesso agrícola em superfície em sistemas exclusivamente agrícolas e de integração lavoura pecuária sob plantio direto. O experimento foi conduzido em um Latossolo Bruno álico de Guarapuava (PR). Os tratamentos, dispostos em blocos completos casualizados, em parcelas subdivididas com quatro repetições, consistiram de dois sistemas de manejo (com e sem pastejo) nas parcelas e da aplicação de doses de calcário, com e sem gesso agrícola, nas subparcelas. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, aos seis, doze e dezoito meses após a aplicação dos produtos. As doses de calcário, tanto na presença quanto na ausência de gesso, aumentaram o pH do solo em proporções similares, criando uma frente de correção da acidez em profundidade proporcional ao tempo. A aplicação de calcário elevou os teores de Ca e Mg trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo. O gesso agrícola aumentou as concentrações de Ca trocável e S-SO_4^{2-} , contribuindo para que os teores de cálcio e magnésio alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo. A calagem e a gessagem em superfície não alteraram os teores de micronutrientes na camada de 0-20 cm. O efeito da calagem e da gessagem nos teores de cálcio foram incrementados pelo pastejo e, portanto, superiores nos sistemas integrados de produção.

Termos de indexação: pastejo, ovinos, mistura calcário + gesso, micronutrientes.

Abstract

This study aimed to evaluate changes in soil chemical properties (pH CaCl_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , S-SO_4^{2-} , BS, and content of cationic micronutrient) resulting from the application of lime and phosphogypsum surface only systems agricultural and livestock integrated crop under no-tillage. The experiment was carried out on a Oxisol Alic, in Guarapuava, Paraná, Brazil. Treatments were arranged in a randomized complete block

design with split plots with four replications, consisted of two management systems (with and without grazing) in installments and the liming doses, with and without gypsum, the subplots. Soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, at six, twelve, and eighteen months after the application of the products. Lime rates, both in the presence and absence of gypsum, soil pH in similar proportions increased, creating a front of acidity correction in depth proportional to the time. Liming raised the Ca and Mg exchangeable, mainly in the upper soil layers. The gypsum increased exchangeable Ca concentrations and S-SO_4^{2-} , contributing to the calcium and magnesium reached, faster, the subsoil layers. Liming and gypsum surface did not alter micronutrients levels in the 0-20 cm layer. The depth effect of lime and gypsum in calcium levels were increased by grazing and therefore higher in integrated production systems.

KeyWords: Grazing sheep, mix lime + gypsum, micronutrients.

4.1 Introdução

Na atual conjuntura mundial, é crescente à busca por alternativas capazes de aumentar a produção de fibras e alimentos de forma sustentável e menos agressiva ao meio ambiente. Nesse contexto, a solução mais indicada para esse desafio é a adoção de sistemas de produção que se aproximem ao máximo dos ecossistemas naturais. Para isso, sugere-se a implantação de cultivos diversificados e integrados as atividades pecuárias. Porém, o potencial de aliar produtividade com conservação, inerente aos sistemas de integração lavoura-pecuária, fundamenta-se, entre outros fatores, no adequado manejo da intensidade de pastejo e na correção da acidez e fertilidade do solo, uma vez que as áreas atualmente destinadas à agricultura, originalmente apresentam características químicas inadequadas para o desenvolvimento de uma agropecuária produtiva.

Destacam-se como principais restrições, o caráter ácido, os altos teores de alumínio trocável e a deficiência de cátions básicos, predominante nos solos brasileiros. Somando-se a isso o fato de que, atualmente, o melhoramento genético tem desenvolvido plantas mais produtivas e exigentes em termos nutricionais, assim como cultivares de ciclo cada vez mais precoce, e, portanto, mais sensíveis a condições de deficiência hídrica, a correção da acidez e a deposição de nutrientes ao longo do perfil do solo fazem-se necessárias na obtenção de altos índices de produtividade, assegurando uma maior estabilidade da produção em situações climáticas desfavoráveis.

Para tanto, a calagem, tornou-se prática frequente nos cultivos agrícolas, porém a sua eficiência na correção da acidez das camadas subsuperficiais em sistema de plantio direto, ainda é bastante polêmica. Como os materiais corretivos utilizados são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário têm mobilidade limitada no perfil do solo, a ação da calagem normalmente fica restrita às zonas de aplicação, concentrando-se, principalmente, nos primeiros centímetros (Ernani et al., 2001; Rosolem, et al., 2003). Com isso tem-se a formação de uma camada mais fértil e corrigida na superfície, enquanto o subsolo torna-se ácido, com maiores teores de alumínio e menores quantidades de bases, limitando o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes.

Dessa forma, com a finalidade de amenizar a estratificação dos atributos químicos no perfil do solo em SPD, tem-se buscado o aprimoramento de técnicas que possuam ação complementar àquela promovida pela calagem, retomando-se o interesse no uso de gesso agrícola. Mais solúvel que o calcário, o gesso é fonte de nutrientes e corrige os teores de Al^{3+} em profundidade (Raij, 1988). Aplicado em superfície, o sulfato de cálcio ($CaSO_4$) do gesso se movimenta para o subsolo com o excesso de umidade, elevando os teores de cálcio e enxofre, reduzindo a toxidez do alumínio e favorecendo o enraizamento das plantas (Sumner, 1995).

Diversos resultados de pesquisa comprovam a eficiência da utilização de gesso na melhoria do ambiente radicular (Caires et al., 2004; Sorato et al., 2008), assim como, em alguns casos, já foram observados aumentos de pH, cálcio e magnésio (Caires *et al.*, 2006; Caires *et al.*, 2008; Costa & Rosolem, 2007), bem como redução de alumínio em camadas do subsolo, em resposta à aplicação de calcário na superfície (Caires et al., 2000; Petreire & Anghinoni, 2001).

No entanto, esses trabalhos em sua grande maioria foram realizados em áreas exclusivamente de grãos, sendo esse tema ainda pouco estudado em sistemas integrados de produção (lavoura-pecuária), onde as novas inter-relações estabelecidas com a presença dos animais torna o sistema solo ainda mais completo, podendo influenciar a dinâmica do calcário e do gesso aplicados superficialmente, por intermédio do pisoteio (alteração de atributos físicos do solo) do pastejo, (afeta a biomassa vegetal sobre o solo) e dos excrementos (adição de ligantes orgânicos).

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo caracterizar os efeitos de doses de calcário associadas ou não à aplicação de gesso agrícola, sobre os atributos químicos de um Latossolo Bruno álico da Região Centro-Sul do Paraná em sistemas exclusivamente agrícolas e de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

4.2 Material e métodos

O experimento foi realizado no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), município de Guarapuava, Paraná, localizado a 25° 33' latitude Sul e 51° 29' longitude Oeste, na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, com uma altitude média de 1100 m. O solo é classificado como Latossolo Bruno álico, com relevo suave ondulado, substrato de rochas basálticas (Embrapa, 2006), textura argilosa, com granulometria de 624 g kg⁻¹ de argila, 311 g kg⁻¹ de limo e 80 g kg⁻¹ de areia. O clima da região, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfb (Maak, 1968), com verões amenos e sem estação seca definida. Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 2.

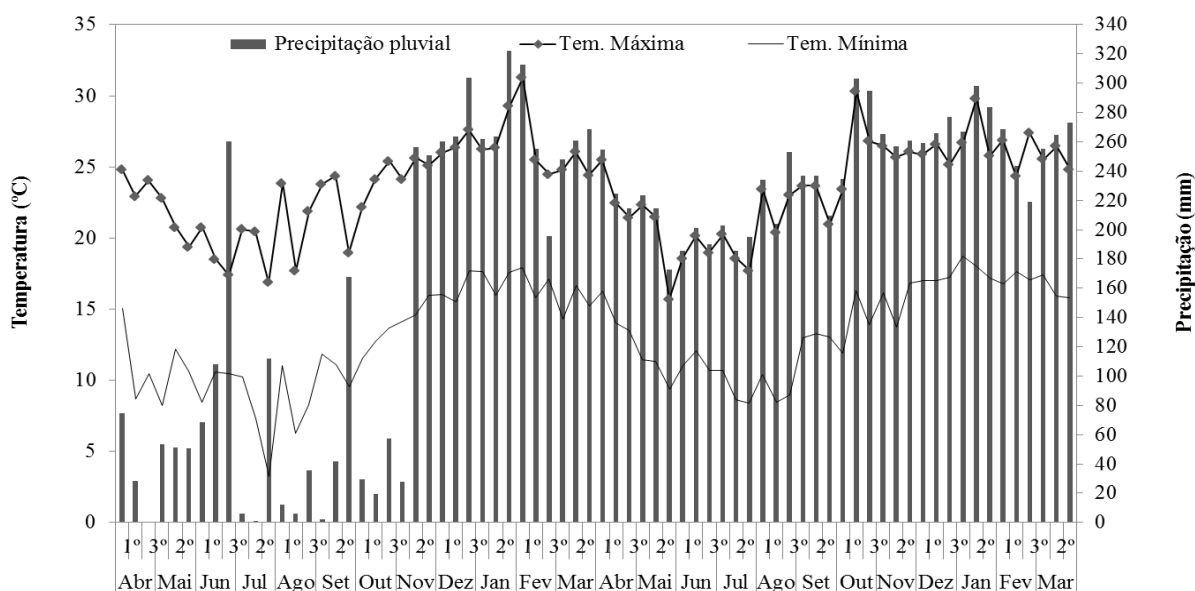


Figura 2 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de abril de 2013 a março de 2015.

Antes da implantação do experimento a área se encontrava há sete anos sob sistema de integração lavoura-pecuária sendo cultivada no inverno com as forrageiras, aveia (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), pastejada por ovinos e, no verão milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*), em anos intercalados.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de produção (com e sem pastejo), e nas subparcelas foram alocados os seguintes tratamentos: T1- testemunha (dose padrão de calcário, definida de acordo com o método da elevação da saturação por bases para 70 % em amostra de solo coletada na camada de 0-20 cm, em plantio direto consolidado), T2- dobro da dose recomendada pela

CQFSRS/SC (2004) para elevar a saturação por bases a 70%, T3- dobro da dose de calcário recomendada associada com a aplicação de gesso em superfície e T4- dose padrão de calcário associada com a aplicação de gesso em superfície. A dose de gesso utilizada seguiu as recomendações de Michalovicz (2013) e as de calcário foram estimadas individualmente para cada subparcela, com base em amostras de solo colhidas na camada 0-20 cm, sendo que a quantidade máxima de calcário dolomítico aplicada no presente experimento correspondeu a $4,9 \text{ Mg ha}^{-1}$. As amostras para caracterização química foram coletadas em maio de 2013 e os resultados médios das análises são os seguintes: matéria orgânica de $45,23 \text{ g dm}^{-3}$; pH (0,01 mol L⁻¹ CaCl₂) de 5,12; P de $9,70 \text{ mg dm}^{-3}$; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,79, 3,95, 2,88, 5,00 e $12,61 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente; e V = 60,12 %.

Os cultivos tiveram a seguinte ordem de implantação na sucessão de culturas: Aveia-preta + Azevém (mai/2013), milho (nov/2013), azevém (junho/2014), feijão (dez/2014). Nas parcelas pastejadas, durante o inverno, utilizou-se cordeiros da raça Ile de France, em regime rotacional, com entrada dos animais sempre que a massa forrageira atingia 25 cm de altura e retirada quando a cobertura vegetal apresentava em média 15 cm.

O milho (30F53) foi semeado com 0,8 m de espaçamento entre linhas, população de 70.000 plantas ha⁻¹ e adubação na linha de semeadura de 250 kg ha^{-1} do formulado (NPK) 08-25-25. Para o azevém utilizou-se o espaçamento de 0,17 m entre linhas, e a adubação de base constou da aplicação de 250 kg do formulado NPK 0-25-25. O feijão (IPR Tuiuiú) foi semeado com o espaçamento de 0,4 m entre linhas, 22 plantas m⁻² e adubação na linha de semeadura de 278 kg ha^{-1} do formulado NPK 04-20-20. Quanto à adubação nitrogenada de cobertura, realizada com ureia, o milho recebeu 140 kg ha^{-1} de N e o azevém 150 kg ha^{-1} de N, observando sempre as condições de clima e umidade favoráveis para o máximo aproveitamento do nutriente.

A caracterização química do solo foi realizada em quatro momentos ao longo do período experimental: imediatamente após o cultivo de verão e antecedendo a aplicação de calcário e gesso (maio de 2013) e aos seis (novembro de 2013), doze (maio de 2014) e dezoito meses (novembro de 2014), após a realização da calagem e gessagem, respectivamente. Em todas essas datas coletaram-se seis subamostras dentro de cada unidade experimental, visando à obtenção de uma amostra representativa. As camadas amostradas foram de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm, coletadas sempre na entrelinha da cultura da área, sendo os pontos referenciados, por meio de uma “malha”, com dimensões conhecidas, possibilitando a amostragem próxima do mesmo ponto ano a ano. Nessas amostras foram determinados o pH em H₂O, os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis (KCL 1M), o teor de K disponível (Melich-

1) (Pavan et al., 1992) os teores de SO_4^{2-} , Cu, Fe^{3+} , Mn e Zn, sendo o S extraído por fosfato de cálcio 0,01 mol l⁻¹ (Cantarella & Prochnow, 2001). Também foi determinado o índice SMP com a finalidade de obter-se os valores de H+Al) e com esses dados, calculou-se a saturação por bases (V).

Os resultados das avaliações realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o Teste Tukey a 5% de probabilidade para a separação das médias.

4.3 Resultados e Discussão

O solo da área experimental antes da aplicação de calcário e gesso já apresentava níveis de fertilidade interpretados como médios ou altos, inclusive em subsuperfície.

No que se refere à acidez do solo, em todas as amostragens realizadas, efeitos significativos foram observados apenas para as profundidades. O pH, no entanto, aos seis meses, atingiu valores de até 5,7, na camada de 0,00-0,05 m. Os efeitos da calagem, tanto na presença quanto na ausência de gesso, foram observados até a camada de 0,05 - 0,10 m aos seis meses após a aplicação, até a camada de 0,10 - 0,20 m aos 12 meses, e permaneceram até 0,10 - 0,20 m de profundidade na amostragem realizada aos 18 meses (Figura 3). Mesmo nas camadas superficiais e nas altas doses de calcário a elevação do pH ocorreu em baixas proporções, o que pode ser explicado pelo alto poder tampão existente, resultante do alto teor de matéria orgânica presente no solo (em torno de 45 kg ha⁻¹).

A ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions em decorrência da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na camada de deposição do calcário. No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimentasse para o subsolo para reagir com a acidez (Costa, 2000). Dessa forma, a formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para as camadas mais profundas do solo constituem a hipótese que melhor justifica a diminuição da acidez no subsolo pela calagem.

O efeito da calagem em profundidade observado em todos os tratamentos também pode estar relacionado ao deslocamento mecânico de partículas finas de calcário, através de canais formados por raízes mortas (Oliveira & Pavan, 1996), de planos de fraqueza (Amaral et al., 2004), ou de galerias de organismos do solo e de macrocanais biológicos (Rheinheimer et al., 2000), os quais são mantidos intactos pela semeadura direta na palha. Além disso, o abundante volume de precipitações que ocorreram após a aplicação do corretivo (Figura 2),

pode ter contribuído para o efeito da calagem aplicada superficialmente na elevação dos valores de pH até as camadas subsuperficiais do solo. De acordo com Miyazawa et al. (2002), o regime hídrico tem grande influência na velocidade de ação do corretivo. Outro fator que pode ter favorecido o efeito do calcário na correção do pH em profundidade, principalmente aos 18 meses após a aplicação, é que essa amostragem foi realizada cerca de 15 dias após a colheita do azevém cultivado na área e de acordo com trabalhos realizados por Miyazawa et al. (2002) e Bayer & Amaral (2003), utilizando extratos vegetais, a percolação desses pelo solo aumenta a eficiência da calagem aplicada em superfície, na correção da acidez de camadas subsuperficiais.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com vários relatos (Caires et al., 1998; Petrere & Anghinoni, 2001; Caires et al., 2003; Gatiboni et al., 2003), no sentido de que a calagem superficial no sistema plantio direto pode ser efetiva em profundidade, uma vez que foram observados os seus efeitos até os 0,20 m, 18 meses após a aplicação do corretivo.

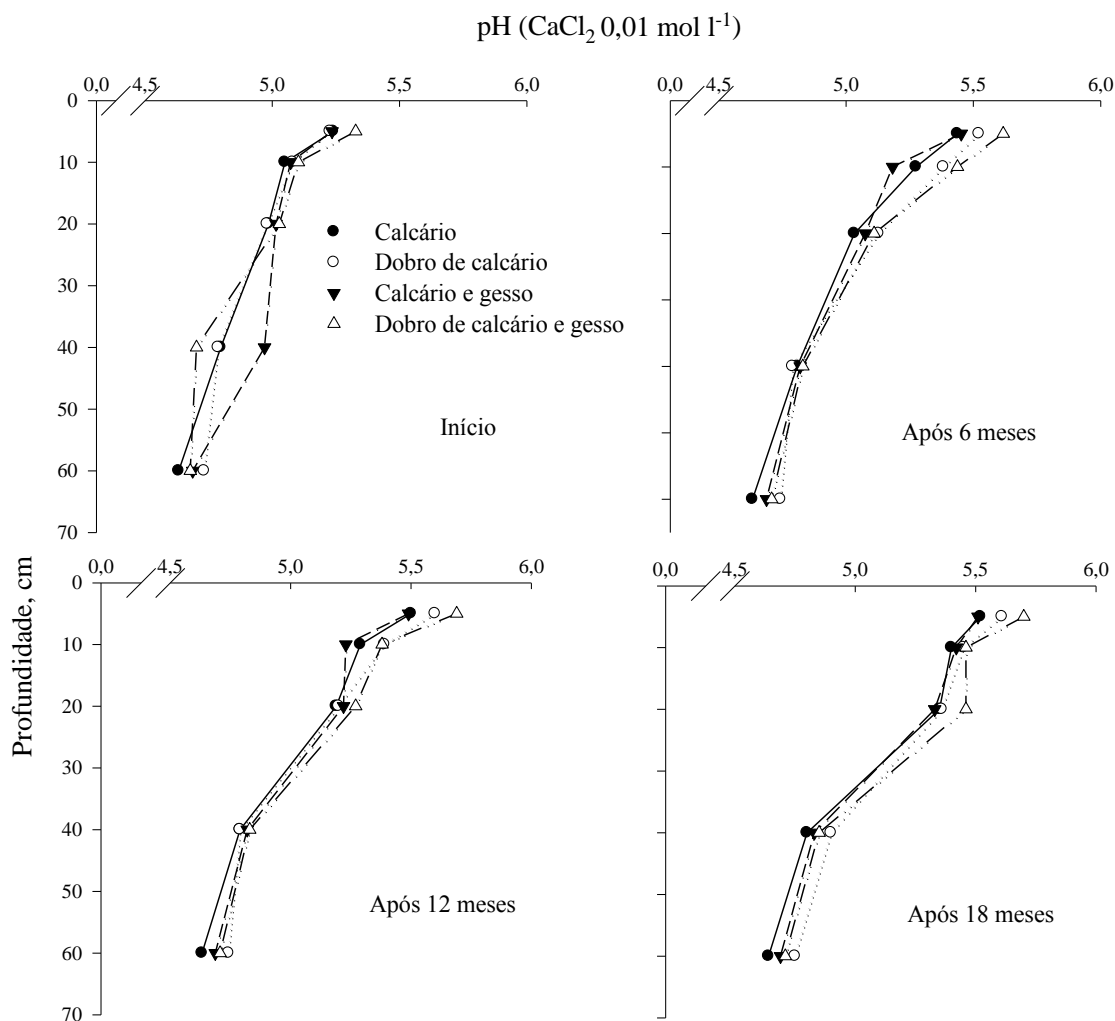


Figura 3 - Valores de pH CaCl₂ no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

Os teores de Ca trocável foram incrementados principalmente nas camadas superficiais do solo, pelas doses de calcário e também pela utilização de gesso (Figura 4). Aos seis meses após a aplicação, a calagem na presença de gesso, elevou os teores de cálcio até à profundidade de 0,40 m, enquanto que na ausência de gesso esse incremento foi verificado apenas nos vinte primeiros centímetros. Aos doze meses verificou-se movimentação expressiva de cálcio em profundidades ainda maiores. Quando na presença de gesso, os efeitos da calagem, alcançaram 0,60 m de profundidade, pois conforme observado por Dal Bó et al., (1986) este produto, além de ser fonte de Ca, promove maior mobilidade desse cátion no solo devido ao íon acompanhante SO_4^{2-} . Já aos 18 meses, apesar de ainda haver diferença entre as médias, os teores desse atributo foram menores, com uma diminuição e uniformização ao longo do perfil do solo, mantendo-se, contudo em níveis superiores à condição inicial (Figura 4). Da mesma forma, diversos trabalhos citam a elevação nos teores de Ca trocável do solo sob influência da aplicação superficial de calcário (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1999, 2000, 2004; Rheinheimer et al., 2000), ou de gesso (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1999, 2004).

Em relação aos sistemas de produção pode-se observar que em todas as épocas de amostragem a presença de ovinos em pastejo, manteve os teores de cálcio superiores em todo o perfil do solo, incrementando os efeitos da calagem superficial em profundidade e favorecendo a descida de Ca^{2+} no perfil do solo, especialmente até os vinte primeiros centímetros de profundidade, o que pode ser explicado pela formação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, quer libertados durante a decomposição dos resíduos animais, principalmente fezes, quer provenientes da exsudação de compostos orgânicos da aveia e do azevém, sob influência do pastejo (Figura 4).

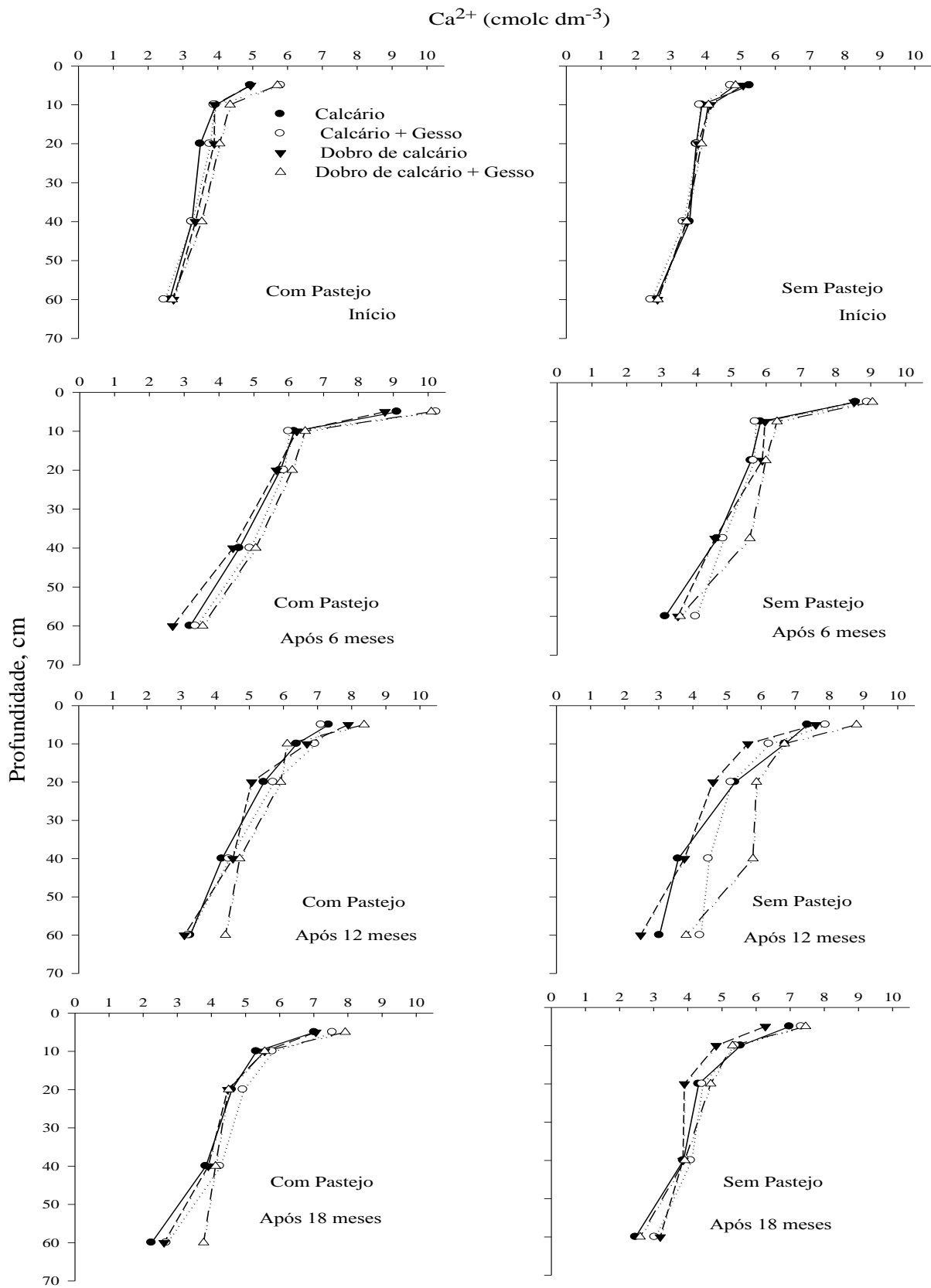


Figura 4 - Teores de cálcio trocável no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

A Figura 5 demonstra que os teores de magnésio variaram em função das doses de calcário (com e sem gesso) e as profundidades de amostragem. Na amostragem realizada aos seis meses após a aplicação, observou-se grande elevação nos teores de Mg trocável nas camadas superficiais do solo pela aplicação de calcário e gesso. Porém com o passar do tempo, houve diminuição nesses teores, o que pode ser atribuído à elevada extração de Mg pelas culturas.

De maneira geral, verificou-se que as doses de calcário incrementaram os teores de magnésio nas camadas superficiais, enquanto que o gesso esteve mais associado ao seu aumento em profundidade. A lixiviação de magnésio tem sido frequentemente observada nos estudos com aplicação superficial de gesso (Caires et al., 1999, 2003, 2004). No entanto, no presente trabalho, apesar da percolação de magnésio em profundidade ter ocorrido de forma mais acentuada quando na presença de gesso, esse nutriente manteve-se em níveis, considerados altos, ao longo de todo o perfil do solo. Dessa forma, pode-se dizer que a calagem ao disponibilizar magnésio para o solo, compensou a movimentação vertical de Mg^{2+} motivada pela adição de gesso, mantendo os teores desse nutriente em níveis satisfatórios em todas as camadas amostradas, independentemente dos relatos obtidos por Caires et al., (1998) de que, na presença de calcário, a lixiviação de Mg trocável foi mais intensa. Ainda com base na Figura 5 é possível inferir que quando a gessagem é realizada juntamente com a aplicação de calcário, a maior quantidade de cálcio adicionada pela calagem, promove sua rápida associação com o íon acompanhante, no caso o SO_4^{2-} , tornando-o passível de lixiviação em detrimento da movimentação do magnésio, impedindo que ocorra o empobrecimento desse nutriente nas camadas superficiais.

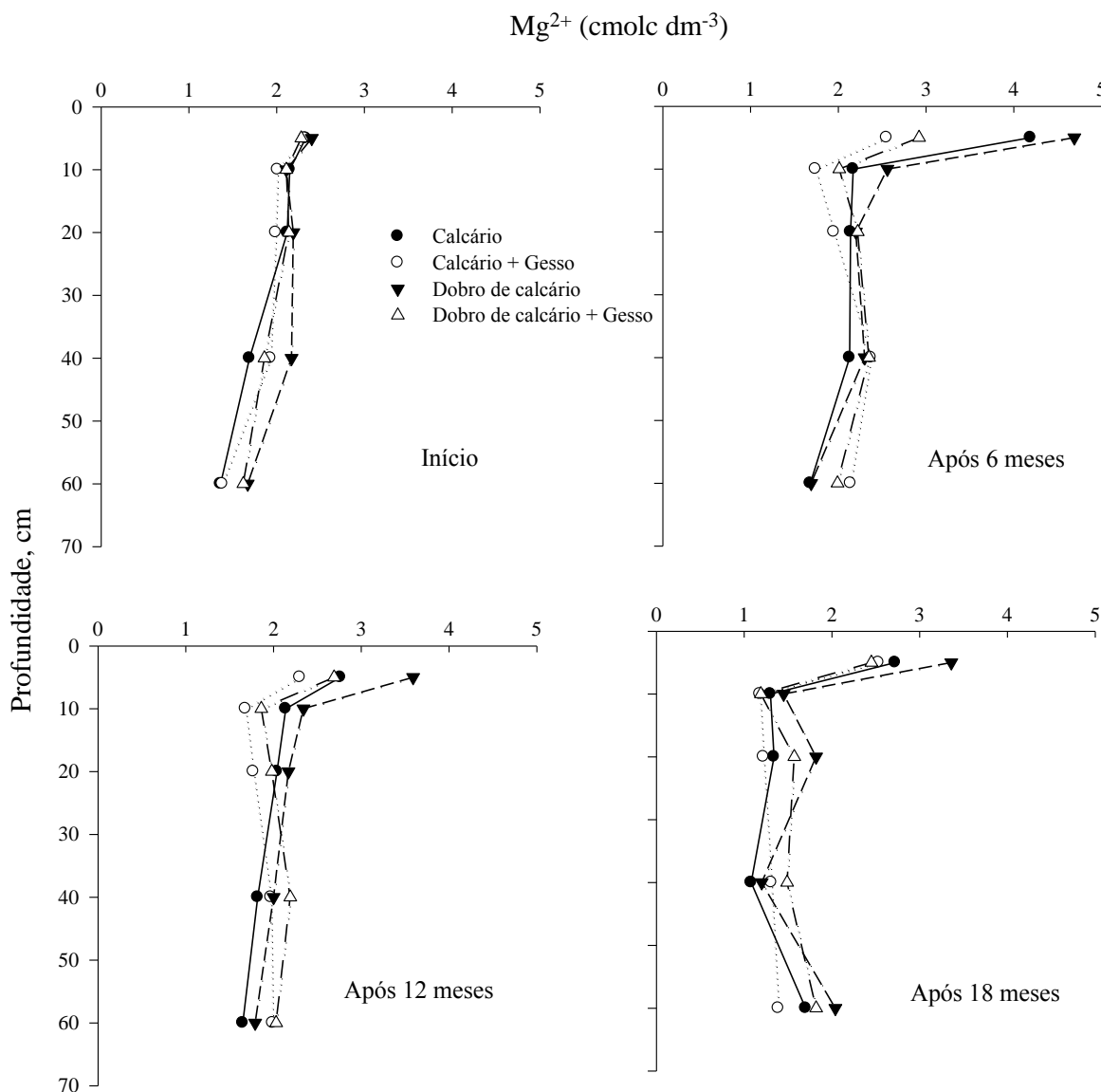


Figura 5 - Teores de magnésio trocável no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

A calagem praticamente não alterou os teores de S-SO_4^{2-} do solo. Por outro lado, observou-se grande aumento em suas concentrações em todo o perfil e, de forma mais acentuada, no subsolo pela utilização de gesso (Figura 6), em decorrência do teor de S no gesso agrícola, mínimo de 13% (Raij, 2008). A pequena retenção do S-SO_4^{2-} nas camadas superficiais do solo pode ser atribuída aos maiores valores de pH observados nessas camadas. A elevação do pH promove a predominância de cargas elétricas negativas, que favorecem a movimentação do S-SO_4^{2-} (Camargo & Raij, 1989; Quaggio et al., 1993).

Da mesma forma, Caires et al. (2011), aplicando até 12 Mg ha^{-1} de gesso em Latossolo Vermelho argiloso de alta fertilidade inicial (0,0-0,4 m), observaram maior relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ e maiores teores de P na superfície e de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} em subsuperfície. Segundo

Raij (2008), a retenção de S-SO_4^{2-} nas camadas superficiais do solo é baixa, geralmente sendo o ânion carregado para o subsolo, quando pode transportar quantidade equivalente de cátions consigo. No subsolo com maior acidez ativa, menores teores de C e P e maior densidade de cargas positivas há então maior retenção de S-SO_4^{2-} .

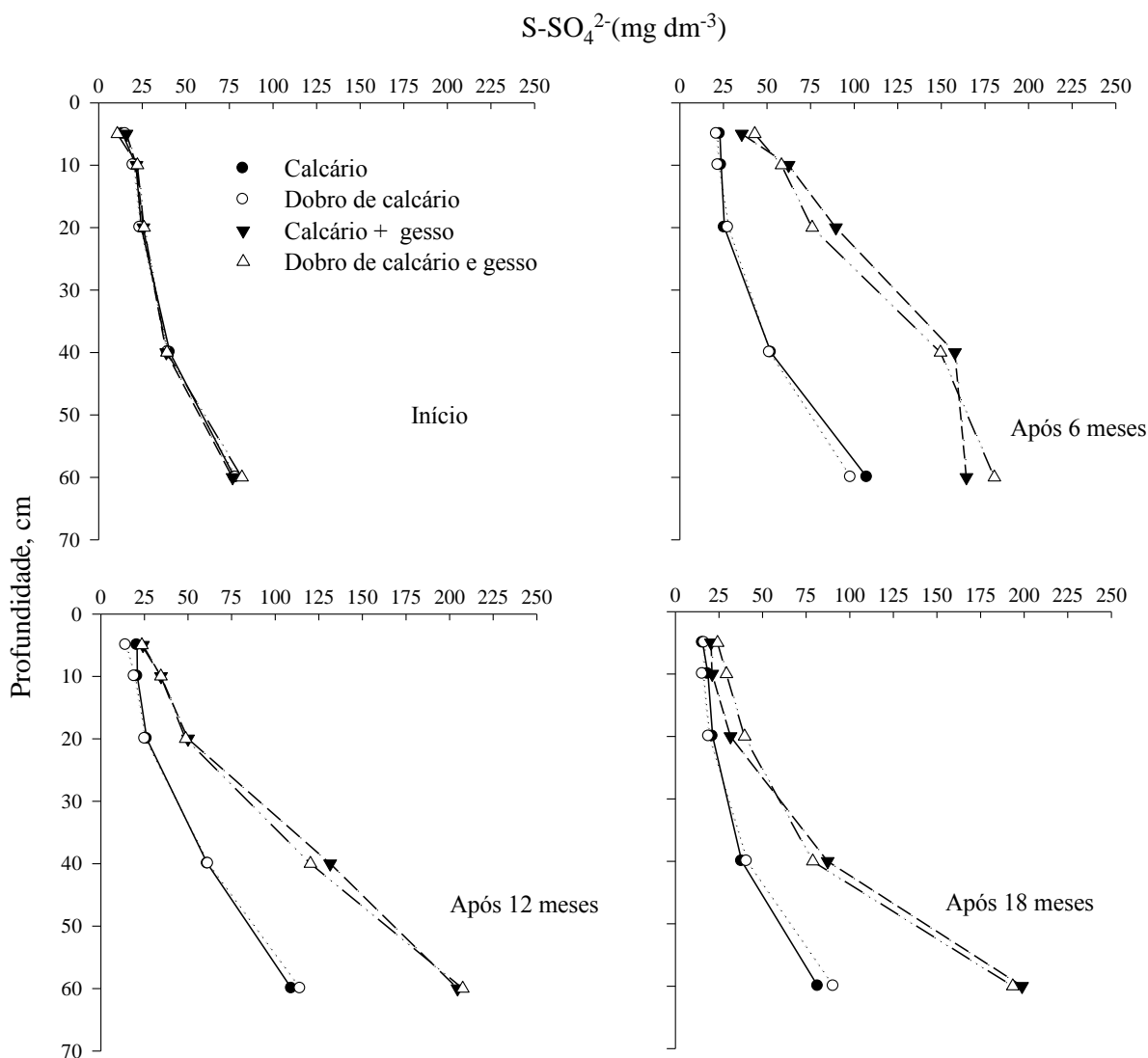


Figura 6 - Teores de sulfato no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

A Figura 7, demonstra que os níveis iniciais de potássio eram altos e sofreram queda acentuada, de magnitudes similares, em todos os tratamentos até a profundidade de 0-20 cm, demonstrando que os menores teores de K^+ registrados ao longo do tempo, podem estar associados à elevada extração desse elemento pelas culturas, sendo pouco provável que tenha ocorrido pelo uso de gesso, pois aos seis e dezoito meses após a aplicação seus teores foram superiores nas parcelas pastejadas e submetidas à gessagem em detrimento ao uso exclusivo de calcário. Ademais, a lixiviação de K^+ por uso de gesso não é tão frequentemente relatada

quanto à de Mg^{2+} , pois a ocorrência do par iônico entre K^+ e SO_4^{2-} é menor do que a do par entre Mg^{2+} e SO_4^{2-} (Zambrosi et al., 2007), por diferenças na afinidade química.

Levando-se em consideração os níveis de potássio após cada cultivo (Figura 7), e o fato de que a primeira amostragem de solo foi realizada, aproximadamente, 30 dias após a colheita da cultura do feijoeiro, pode-se inferir que os elevados teores iniciais desse nutriente se devem à sua rápida liberação pela cultura antecessora. Pois, conforme evidenciado por Neves et al., (2009), avaliando a decomposição de resíduos do feijoeiro, o potássio juntamente com o cálcio, permanece no sistema principalmente nas folhas e hastes por ocasião da colheita, retornando ao solo ao final do ciclo da cultura. Além disso, de acordo com Chagas et al. (2007), o K, em comparação com os demais macronutrientes, é o que apresenta menor meia-vida nos resíduos, pela sua maior mobilidade e rápida velocidade de liberação pelas leguminosas (Tian et al. 1992).

Em relação aos sistemas de produção, pode-se observar que nas amostragens realizadas aos seis e dezoito meses, respectivamente, os teores de potássio nas camadas superficiais foram relativamente superiores nas áreas pastejadas. Considerando que essas amostras foram coletadas logo após o cultivo das pastagens de inverno, tais resultados podem estar associados à contribuição dos excrementos de origem animal na velocidade de ciclagem desse nutriente, uma vez que, em sistemas integrados de produção, grande parte (até 90%) do potássio ingerido (consumo da forragem), retorna ao solo via urina (70-90%), estando prontamente disponível para ser absorvido pelas culturas (Haynes & Williams, 1993). Portanto, pode-se dizer que a micção animal incrementa as concentrações de K no solo, de forma mais rápida e acentuada, já que em sistemas de produção sem pousio entre uma cultura e outra (sistema planta-colhe-planta), o K absorvido permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal (Ferreira et al., 2011).

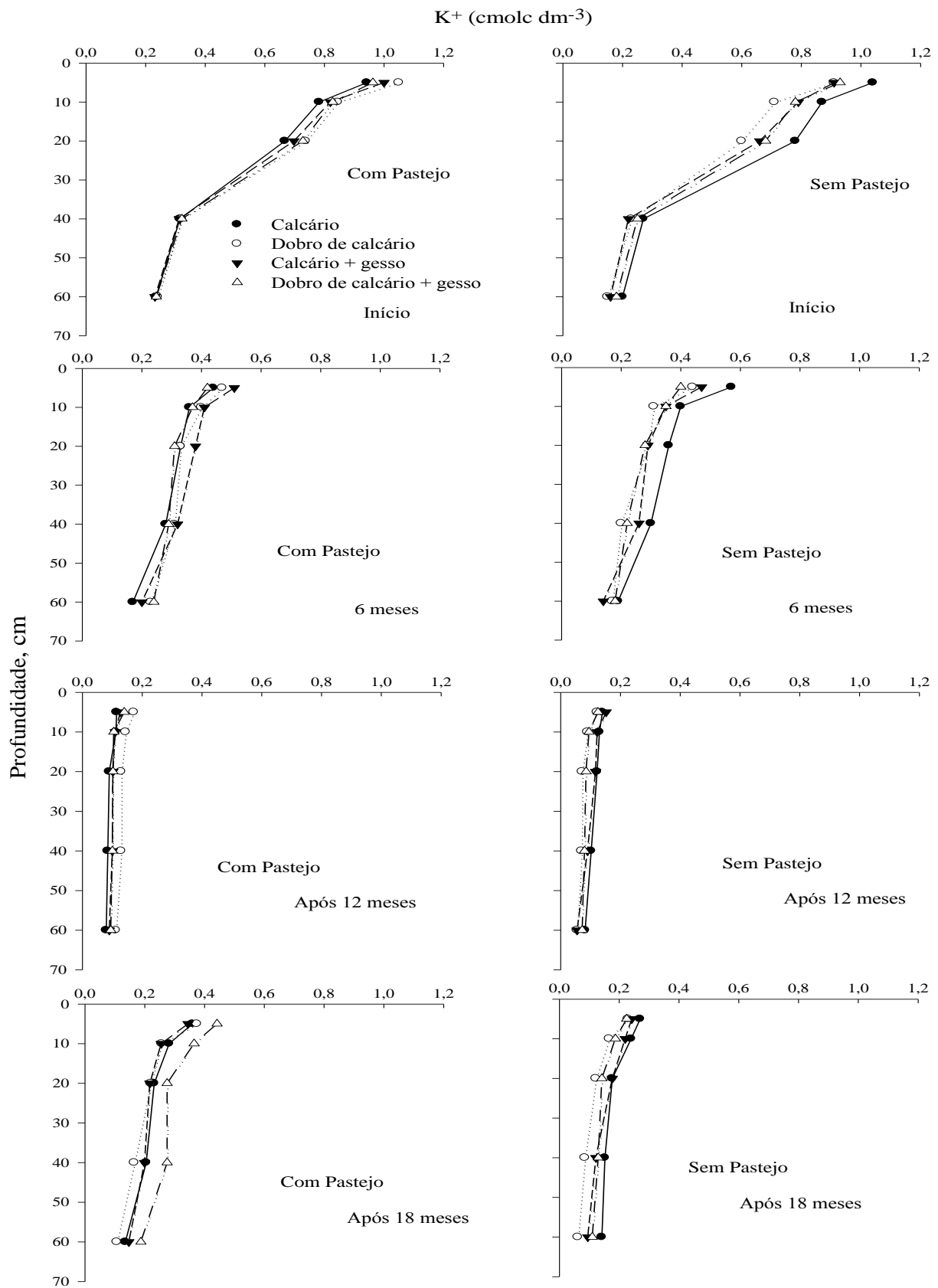


Figura 7 - Teores de potássio no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

No que se refere à saturação por bases esta apresentou o mesmo padrão para cálcio, devido a grande contribuição deste para a capacidade de troca de cátions do solo. A saturação por bases elevou-se para valores superiores a 70% na camada superficial, mantendo e ampliando um gradiente decrescente com a profundidade, já observado antes da calagem (Figura 8). Os maiores efeitos da aplicação de doses de calcário e gesso, nos valores de saturação por bases até a profundidade de 0,40 m, aos 6 meses após a aplicação, foram decorrentes da movimentação de Ca e Mg no perfil do solo, provavelmente proporcionado pelos compostos hidrossolúveis originários dos resíduos, principalmente da aveia e do azevém cultivados na área (Soratto & Crusciol, 2007), como já foi discutido anteriormente.

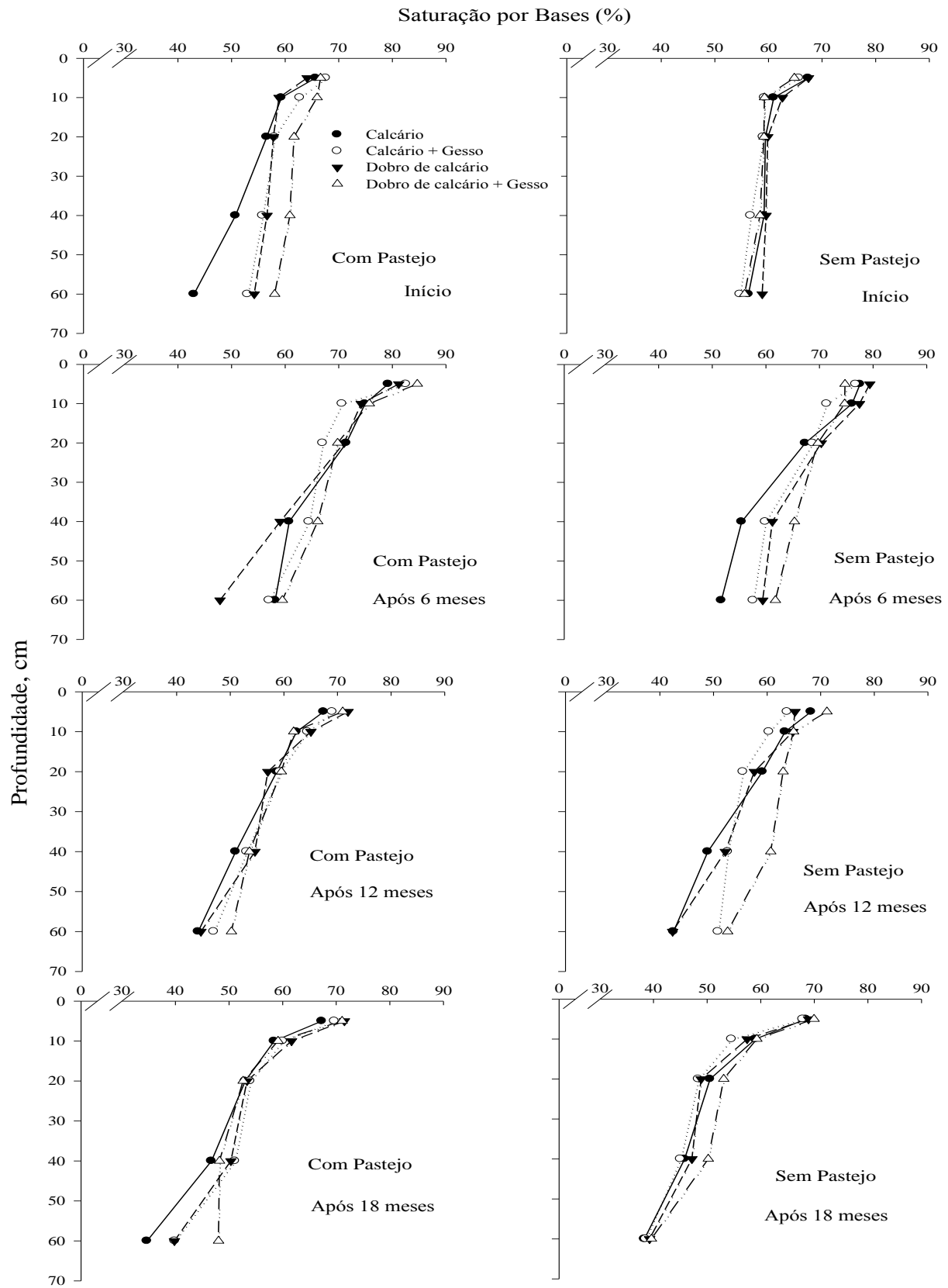


Figura 8 - Saturação por bases em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície, e dos sistemas de produção (com e sem pastejo) em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

Em relação ao alumínio, seus teores não responderam às doses de calcário (com e sem gesso) assim como não foram influenciados pelos sistemas de produção. Conforme apresentado na Figura 9, os níveis iniciais de alumínio no solo já eram extremamente baixos ao longo de todo o perfil e assim permaneceram até os 18 meses, quando suas concentrações tiveram um ligeiro acréscimo, mantendo-se em níveis considerados baixos, conforme recomendações da CQFSRS/SC (2004).

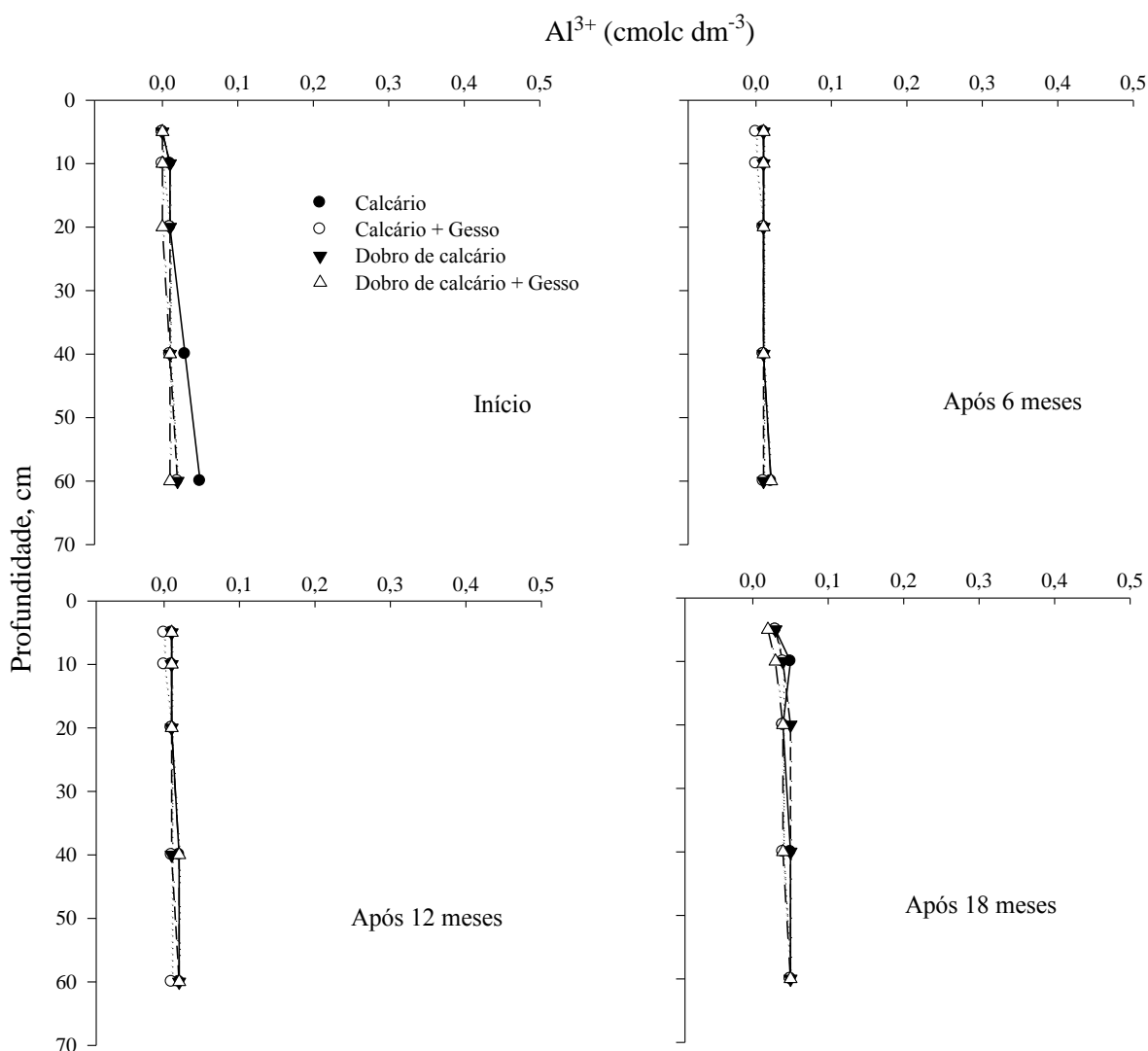


Figura 9 - Teores de alumínio no solo em função da aplicação de doses de calcário, sem e com gesso em superfície em quatro épocas de amostragem após a aplicação.

No presente trabalho, embora a calagem superficial tenha promovido uma pequena elevação nos valores de pH na camada de 0 - 0,20 m (Figura 3), não alterou os teores de Cu, Fe, Zn e Mn (Tabela 8). Alleoni et al. (2005) verificaram diminuição dos teores de Fe e Mn nas camadas superficiais do solo mediante a aplicação de calcário em superfície. De acordo

com Camargo et al. (1982), foi detectada em solos paulistas correlação negativa entre pH e os teores de Zn, Mn e Fe. Contudo, Soratto et al. (2008), em um Latossolo Vermelho, também não observaram redução nos teores desses nutrientes, mesmo com a aplicação de até 4.300 kg ha⁻¹ de calcário. Os teores de Fe e Mn observados neste experimento são semelhantes aos verificados por Soratto et al. (2008) e se encontram na faixa considerada alta pela CQFSRS/SC (2004). Quanto ao Zn, os valores encontrados também são semelhantes aos verificados por Soratto et al. (2008), porém, no geral, se situam em uma faixa de teores considerada média a alta CQFSRS/SC (2004). Com relação ao Cu, os teores verificados no solo deste experimento são considerados elevados CQFSRS/SC (2004) e bem superiores aos observados por Soratto et al. (2008).

Tabela 8 - Teores de cobre, ferro, manganês e zinco no solo (0-0,20 m), em função da aplicação de doses de calcário e gesso em superfície, em quatro épocas de amostragem após a aplicação

Tratamentos kg ha ⁻¹	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----			
	Antes			
Calcário	3,53	30,24	54,05	5,53
Calcário + Gesso	3,47	30,59	55,20	4,93
Dobro de calcário	3,57	31,22	55,19	5,64
Dobro de calcário + Gesso	3,52	30,16	51,55	5,27
Efeito				
	Seis meses			
Calcário	3,13	33,48	53,29	5,84
Calcário + Gesso	3,25	34,23	50,11	5,37
Dobro de calcário	3,09	32,66	53,65	4,79
Dobro de calcário + Gesso	3,08	33,58	52,47	4,28
Efeito				
	Doze meses			
Calcário	3,73	37,77	55,12	4,86
Calcário + Gesso	3,80	34,03	55,20	5,95
Dobro de calcário	3,91	35,58	55,19	4,60
Dobro de calcário + Gesso	3,76	35,22	53,47	5,64
Efeito				
	Dezoito meses			
Calcário	3,75	31,84	43,06	5,48
Calcário + Gesso	3,75	32,45	45,33	4,35
Dobro de calcário	2,76	31,98	42,00	5,61
Dobro de calcário + Gesso	2,64	31,37	44,26	5,62
Efeito				

n.s: não significativo a 5% pelo teste t.

4.4 Conclusões

1- As doses de calcário, com ou sem gesso, aumentaram o pH do solo em magnitudes similares, criando uma frente de correção da acidez em profundidade proporcional ao tempo.

2- A utilização de gesso agrícola, em ambos os sistemas de produção (com e sem pastejo), aumentou as concentrações de Ca trocável e $S-SO_4^{2-}$, contribuindo para que os teores de cálcio e magnésio alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo.

3- A aplicação de gesso e de calcário em ambas as doses, não alteraram os teores de micronutrientes na camada de 0-20 cm de profundidade.

4- O pastejo incrementou o efeito da calagem e da gessagem nos teores de cálcio.

4.5 Referências bibliográficas

- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. & CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 923-934, 2005.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HENRICHIS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 359-367, 2004.
- BAYER, C.; AMARAL, A. S. Amenização da acidez de um Latossolo argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista Ciências Agroveterinárias**, v. 2, p. 88-96, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 161-169, 2000.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 275-286, 2003.

- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 125-136, 2004.
- CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v.63, p. 502- 509, 2006.
- CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S. ; ZARDO FILHO, R. & FELDHAUS, I. C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use Management**, v.24, p. 302-309, 2008.
- CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisoil under no-till cropping system. . **Scientia Agricola**, v. 68, p. 45-53, 2011.
- CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L.I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, p. 225-230, 2001.
- CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 275-280, 1989.
- CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. G. M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 723-729, 2007.
- COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to notill under a wheat soybean rotation. **Soil Tillage Research**, v.97, p. 207-217, 2007.
- COSTA, A. Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja trigo em sistema plantio direto. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2000. 146p. (Tese de Doutorado)
- DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana de açúcar. I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 195-198, 1986.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006) - **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 399 p.

- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agrícola**, v. 58, p. 825-831, 2001.
- FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 161-169, 2011.
- GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.P.C.; RHEINHEIMER, D.S. & KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v. 33, p. 283-290, 2003.
- HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, n. 1, p. 119-199. 1993.
- MAAK, R. (1968) - **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba. 350p.
- MELLO, L. M. M. Integração agricultura-pecuária em sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos Expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM.
- MICHALOVICZ, L. (2013) - **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-oeste, Brasil. 52 p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: International Symposium on plant-soil interactions at Low pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa-CPAC, 1996. p.8.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; FERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extrato de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estágios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v. 39, p. 758-765, 2009.
- OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production, **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n.1/2, p. 47-57, 1996.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. de.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina : IAPAR, 1992. 40 p. (IAPAR. Circular 76).

- PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 885-895, 2001. RAIJ, B van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001, 233p.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 28:375-383, 1993.
- RAIJ, B van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, 233p.
- RAIJ, B van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: ANDA, 1988, 88p.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos químicos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 797-805, 2000.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, RS: SBSC/Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 394p.
- SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 81-90, 2007.
- SUMNER, M.E. **Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance**. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A., eds. Subsoil management techniques. Athens, GA, Lewis Publishers, p. 147-185, 1995.
- TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. **Soil Biology Biochemistry**, v. 24, p. 1051-1060, 1992.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p. 110-117, 2007.

CAPÍTULO IV

5 NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SUCESSÃO AZEVÉM-MILHO-FEIJÃO EM FUNÇÃO DO PASTEJO E DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO EM SUPERFÍCIE

Resumo

Existem informações conflitantes a respeito da eficiência da aplicação superficial de calcário e gesso em sistemas de produção, particularmente na correção da acidez do subsolo, e consequentemente, sua contribuição no crescimento e desenvolvimento das culturas. Com o objetivo de avaliar o efeito de doses de calcário e gesso na nutrição e produtividade da sucessão milho-azevém-feijão sob plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária, foi realizado um experimento em um Latossolo Vermelho-Bruno álico, textura média, em Guarapuava (PR), no período de 2013 a 2015. Os tratamentos, dispostos em blocos completos ao acaso, em parcelas subdivididas com quatro repetições, constaram de dois sistemas de manejo (pastejado e não pastejado) nas parcelas e da aplicação de doses de calcário, com ou sem a utilização de gesso em superfície, nas subparcelas. A calagem e a gessagem foram realizadas em maio de 2013, a lanço, na superfície do solo. Foram cultivados, na sequência, milho (2013/2014), azevém (2014) e feijão (2014/2015). As aplicações conjuntas de calcário e gesso incrementaram os teores de cálcio nas folhas de milho, feijão e azevém. Em termos de produtividade, as culturas do milho e do feijão não foram influenciadas pelos tratamentos de calcário e gesso, assim como não responderam ao pastejo. Já as produções de matéria seca total e residual da pastagem foram positivamente afetadas pela utilização do gesso, em decorrência do aumento na absorção de Ca e S, sendo evidenciadas maiores produções de biomassa total acumulada nas áreas pastejadas.

Termos de indexação: cálcio, nutrição mineral, acidez, subsolo.

Abstract

There are conflicting reports regarding the superficial application of the efficiency of lime and gypsum in production systems, particularly in the subsoil acidity correction, and hence its contribution to the growth and development of crops. With the objective of evaluating the effect of lime and plaster in nutrition and productivity of corn-rye-bean succession under no-tillage in integrated crop-livestock systems, an experiment was conducted in a Red-Bruno Alic Oxisol, medium texture, in Guarapuava (PR), from 2013 to

2015. The treatments, arranged in a randomized complete block design with split plots with four replications, consisted of two management systems (grazed and not grazed) in the plots and the application of limestone doses, with or without the use of phosphogypsum surface, the subplots. Lime was applied in May 2013, the haul on the road surface. Have been grown as a result, corn (2013/2014), ryegrass (2014), beans (2014/2015). The joint application of lime and gypsum increased calcium levels in corn leaves, beans and ryegrass. In terms of productivity, crops of maize and beans were not affected by limestone and gypsum treatments, and did not respond to grazing. Already the productions total and residual dry matter of the pasture were positively affected by the use of gypsum, due to the increase in the absorption of Ca and S, evidenced higher yields of total biomass accumulated in grazed areas.

Index terms: calcium, mineral nutrition, acidity, underground.

5.1 Introdução

O melhoramento genético tem desenvolvido plantas cada vez mais produtivas e exigentes em termos nutricionais. Porém, o potencial produtivo das culturas, na agricultura brasileira, tem sido frequentemente limitado por fatores associados à erosão e à acidez do solo. No estado do Paraná, a partir da década de 1970, os sistemas de produção mudaram com a introdução do plantio direto, visando reduzir a degradação, manter o solo coberto e minimizar as perdas de nutrientes com as precipitações, acumulando matéria orgânica e melhorando a fertilidade química, física e biológica do solo. Entretanto, no que se refere à correção da acidez, devido à baixa solubilidade e mobilidade vertical do calcário, a ação da calagem distribuída em superfície, sem incorporação, no SPD se restringe aos primeiros centímetros do perfil geralmente, formando-se uma camada mais corrigida e fértil em superfície, enquanto os extratos de solo inferiores se tornam ácidos, apresentando menores teores de nutrientes e elevada saturação por alumínio. Com o tempo, forma-se uma barreira química ao crescimento das raízes, tornando as culturas mais dependentes da precipitação para absorver água e nutrientes, já que o seu sistema radicular passa a ser superficial, o que compromete a estabilidade de produção dos cultivos agrícolas.

Portanto, como já foi demonstrado, o calcário pode ter atuação restrita às zonas de aplicação, concentrando-se principalmente nas camadas superficiais dos solos sob PD (Raij et al., 1998, Ernani et al., 2001, Caires et al., 1999). Contudo, existem relatos de que em sistemas integrados de produção, a presença dos animais em pastejo incrementa os efeitos da calagem superficial em profundidade, uma vez que os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberados durante a decomposição dos resíduos animais, principalmente fezes,

auxiliam no efeito corretivo do calcário em subsuperfície, favorecendo a descida de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo (Flores et al., 2008). Dessa forma, presumindo-se a adição de resíduos em quantidade, variedade e frequência compatíveis com a dinâmica biológica do solo, os SIPA, podem ser apontados como uma alternativa, de longo prazo, potencialmente capaz de amenizar o gradiente vertical de fertilidade em PD.

De forma similar, diante dessa necessidade de aprimorar técnicas que possuam ação complementar aquela promovida pela calagem, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vem sendo amplamente utilizado, já que se trata de um insumo que devido a sua alta solubilidade adiciona cálcio e enxofre ao solo, deslocando Mg^{2+} e eventualmente K^+ das camadas superficiais do solo, pelo fornecimento do ânion sulfato (SO_4^{2-}) na solução, que atua como íon acompanhante e, juntamente com a água, carrega esses nutrientes em profundidade (Caires et al., 2011b). Além de fornecer e transportar nutrientes, o gesso reduz a atividade do Al^{3+} trocável (Toma et al., 1999) e a toxidez às raízes, formando pares iônicos como o AlSO_4^- (Zambrosi et al., 2007). Deste modo, à medida que o gesso se movimenta no perfil do solo, o mesmo pode proporcionar melhorias nas condições químicas do ambiente radicular e, conseqüentemente, interferir na produção de grãos e acúmulo de nutrientes pelas culturas.

Diversos trabalhos tem demonstrado efeito positivo da aplicação de calcário e da utilização de gesso no rendimento de grãos das culturas (Caires et al., 2004; Sorato et al., 2008), no entanto estes, em sua grande maioria, foram instalados em áreas apenas de lavoura em SPD, sendo necessária a realização de pesquisas, envolvendo a aplicação conjunta desses produtos, em sistemas integrados de produção, uma vez que a presença dos animais, como parte do ciclo biogeoquímico, aumenta os níveis de complexidade dos processos envolvidos na movimentação das partículas finas e nutrientes no perfil do solo (Cassol, 2003).

Nesse sentido, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de doses de calcário com e sem gesso na nutrição e produtividade da sucessão milho-azevém-feijão sob plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária no Centro-Sul do Paraná.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), município de Guarapuava, Paraná, localizado a 25° 33' latitude Sul e 51° 29' longitude Oeste, na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, com uma altitude média de 1100 m. O solo é classificado como Latossolo Bruno álico, com relevo suave ondulado, substrato de rochas basálticas (Embrapa, 2006), textura argilosa, com granulometria de 624 g kg^{-1} de argila, 311 g kg^{-1} de limo e 80 g kg^{-1} de areia. O

clima da região, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfb (Maak, 1968), com verões amenos e sem estação seca definida. Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 10.

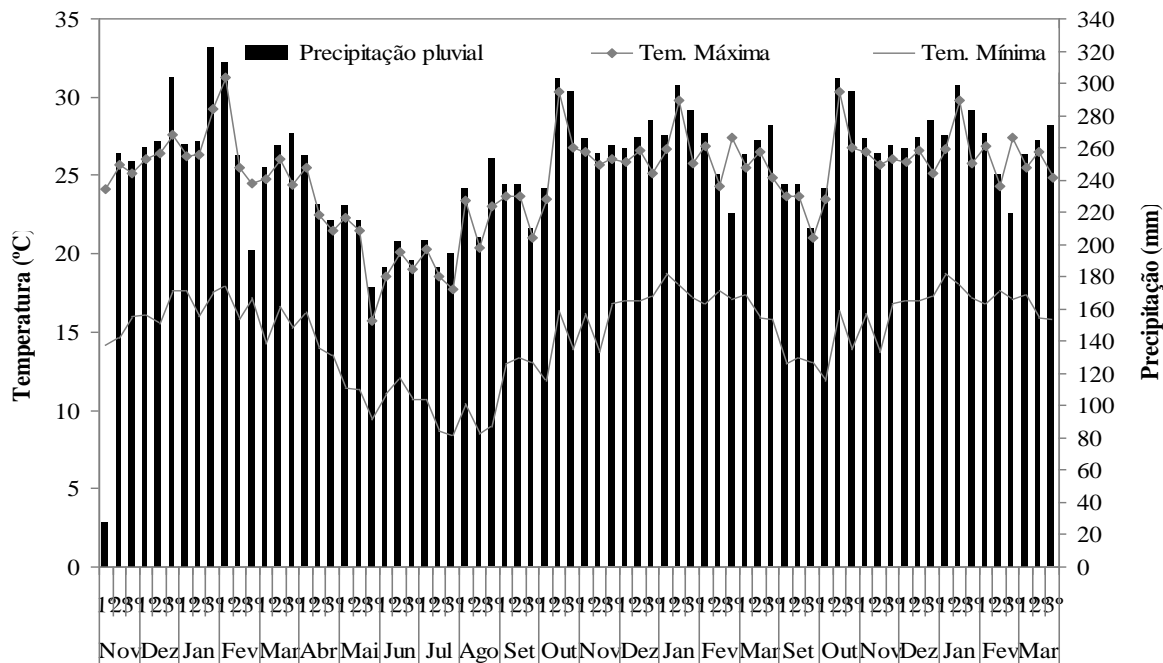


Figura 10 - Precipitação e médias decendiais de temperatura máxima e mínima durante o período de novembro de 2013 a março de 2015.

Antes da implantação do experimento a área se encontrava há sete anos sob sistema de integração lavoura-pecuária sendo cultivada no inverno com as forrageiras, aveia (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), ocupada por ovinos e, no verão milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*), em anos intercalados.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de produção (com e sem pastejo), e nas subparcelas foram alocados os seguintes tratamentos: T1- testemunha (dose padrão de calcário, definida de acordo com o método da elevação da saturação por bases para 70 % em amostra de solo coletada na camada de 0-20 cm, em plantio direto consolidado), T2- dobro da dose recomendada pela CQFSRS/SC (2004) para elevar a saturação por bases a 70%, T3- dobro da dose de calcário recomendada associada com a aplicação de gesso em superfície e T4- dose padrão de calcário associada com a aplicação de gesso em superfície. A dose de gesso utilizada seguiu as recomendações de Michalovicz (2013) e as de calcário foram estimadas individualmente para cada subparcela, com base em amostras de solo colhidas na camada 0-20 cm, sendo 4,9 Mg ha⁻¹ a quantidade máxima de calcário dolomítico aplicada no presente experimento. As

amostras para caracterização química foram coletadas em maio de 2013 e os resultados médios das análises são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Caracterização química do solo antes do início do experimento

Prof. ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V
cm	mg dm ⁻³	CaCl ₂	----- cmol dm ⁻³ -----			-----		
0 - 5	26,80	5,29	0,00	4,62	5,17	2,96	0,97	66,18
5 - 10	5,24	5,12	0,01	5,00	3,83	2,89	0,81	59,97
10 - 20	3,38	5,03	0,02	5,18	3,41	2,83	0,69	57,17
20 - 40	0,02	4,91	0,02	4,80	3,97	1,99	0,28	56,69
40 - 60	0,00	4,63	0,02	3,17	2,60	1,51	0,21	57,78

⁽¹⁾Profundidade; ⁽²⁾P extraído por Mehlich I.

Os cultivos tiveram a seguinte ordem de implantação na sucessão de culturas: Milho (nov/2013), azevém (junho/2014), feijão (dez/2014). Nas parcelas pastejadas, durante o inverno, utilizou-se cordeiros da raça Ile de France, em regime rotacional, com entrada dos animais sempre que a manta forrageira atingia 25 cm de altura e retirada quando a cobertura vegetal apresentava em média 15 cm.

O milho (30F53) foi semeado com 0,8 m de espaçamento entre linhas, população de 70.000 plantas ha⁻¹ e adubação na linha de semeadura de 250 kg ha⁻¹ do formulado (NPK) 08-25-25. Para o azevém utilizou-se o espaçamento de 0,17 m entre linhas, e a adubação de base constou da aplicação de 250 kg do formulado NPK 0-25-25. O feijão (IPR Tuiuiú) foi semeado com o espaçamento de 0,4 m entre linhas, 22 plantas m⁻² e adubação na linha de semeadura de 278 kg ha⁻¹ do formulado NPK 04-20-20. Quanto à adubação nitrogenada de cobertura, realizada com ureia, o milho recebeu 140 kg ha⁻¹ de N e o azevém 150 kg ha⁻¹ de N, observando sempre as condições de clima e umidade favoráveis para o máximo aproveitamento do nutriente.

As amostras de tecido foliar foram colhidas no início do período reprodutivo das culturas, estádios R1 para o milho (Ritchie & Hanway, 1992) e R6 para o feijão (Araujo et al., 1996). Em relação ao azevém, a coleta foi realizada ao final do ciclo da cultura. No milho, coletou-se a folha oposta e abaixo da espiga; no feijão, o terceiro trifólio do ápice para a base e no azevém cortou-se, rente ao solo, dois pontos por parcela de área 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) (CQFSRS/SC, 2004). As análises químicas determinaram: P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn extraídos por digestão nítrico-perclórica, e N extraído por digestão sulfúrica (Malavolta, 1997).

A produtividade foi avaliada no período de maturidade fisiológica das culturas. Para o milho e o feijão, o rendimento foi estimado pela colheita de uma área de 16,5 m² no centro das unidades experimentais e os valores de produtividade corrigidos para a umidade de 130 g

kg⁻¹. Na cultura do azevém, para a determinação da produção de matéria seca total (MST), nos tratamentos pastoreados, foi realizada a medição da massa de forragem nas condições de pré e pós-pastejo, por meio do corte, rente ao solo, das plantas contidas em dois quadrados de 0,25 m². As amostras após colheita foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até peso constante. A acumulação de forragem (kg MS ha⁻¹) foi calculada a partir da diferença entre a massa de forragem num pré-pastejo e no pós-pastejo anterior. A taxa de acumulação de matéria seca da pastagem (kg MS ha⁻¹ dia⁻¹) foi obtida pela divisão da produção de forragem pelo número de dias do período de descanso da pastagem, sendo a produção de matéria seca total, no período experimental, calculada pelo somatório da acumulação parcial de forragem em cada ciclo de pastejo e a produção de matéria seca residual (MSR). Da mesma forma, procedeu-se para os tratamentos sem pastejo, sendo a avaliação da produção de matéria seca total realizada no final do ciclo da cultura.

Os resultados das avaliações realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o Teste Tukey a 5% de probabilidade para a separação das médias.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Teores de nutrientes no tecido foliar do milho

Os teores foliares de N do milho não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 10), mantendo-se acima do NC que vai de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997), em conformidade com à adubação da cultura, que contou com 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e duas coberturas de 70 kg ha⁻¹ de N cada, em V4 e V6. Outro fator que pode ter contribuído para este resultado é que a cultura não passou por estresse hídrico (Figura 10) que pudesse afetar o aproveitamento do nutriente oriundo da adubação. Esses resultados concordam com os obtidos por Caires et al. (2011a) em experimento de longa duração realizado em Latossolo Vermelho argiloso de alta fertilidade e baixa acidez onde os teores foliares de N do milho não responderam às doses crescentes de gesso aplicadas. Da mesma forma, em estudo realizado por Caires et al., (2004) em Ponta Grossa-PR, com doses de até 9 Mg ha⁻¹ de gesso e 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário, observou-se que a calagem não alterou as concentrações foliares de N. Por outro lado, o gesso, promoveu acréscimos lineares, sendo esses incrementos atribuídos a maior distribuição radicular em profundidade e, conseqüentemente, aumento na absorção de N-NO₃⁻ do subsolo.

De forma similar, o teor foliar de fósforo do milho não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 10), permanecendo sempre dentro da faixa de suficiência para a cultura que é de 2,5 a 3,5 g kg⁻¹ (Malavolta et al, 1997), condizendo com os altos teores de P no solo

na camada de 0-5 cm (Tabela 10) e com a adubação de semeadura (62 kg ha^{-1} de P_2O_5). Caires et al. (2004) e Raij et al. (1998) obtiveram resultados semelhantes estudando a resposta do milho à calagem e aplicação de gesso.

Em relação ao teor foliar de Ca do milho este aumentou em função da utilização de gesso, porém sem efeito dos sistemas de produção (Tabela 10). Esses resultados estão de acordo com Raij et al. (1998) e Caires et al. (2004) que também obtiveram maior teor foliar de Ca no milho com uso de gesso. Para tanto, essa resposta em termos de aumento na concentração de cálcio à adição de gesso pode ser explicada pelas afirmações de Caires et al., (1999) que correlacionando os teores de cálcio na soja e no solo, em função da profundidade, atribuíram o acréscimo obtido no teor de cálcio nas folhas à elevação do cálcio trocável em todo o perfil do solo, em função do efeito da calagem, até 10 cm, e do gesso, até 80 cm, demonstrando a importância da melhoria dos teores de cálcio do subsolo para a absorção de cálcio pelas plantas.

Para o potássio, não houve influência das doses de calcário e gesso sobre os teores foliares desse elemento no milho, sem diferenças também entre os sistemas de produção (Pastejado e Não pastejado) (Tabela 10). Portanto, a absorção de potássio não foi prejudicada por inibição competitiva com cálcio. Em outros estudos, o gesso também não influenciou os teores foliares de K no milho (Caires et al., 2011a), no trigo (Caires et al., 2002) e na soja (Caires et al., 2003; 2011a; Nogueira & Melo, 2003).

No presente estudo, os teores foliares de magnésio no milho, foram semelhantes em todos os tratamentos, não sendo influenciado pelas doses de calcário e tão pouco pela utilização de gesso (Tabela 10). Esses resultados contrariam os evidenciados por Raij et al. (1998) e Caires et al. (2004) que obtiveram queda no teor foliar de Mg do milho com a utilização de doses crescentes de gesso, ocasionada pela mobilização de Mg^{2+} de camadas superficiais para o subsolo. Comparando os teores desse nutriente com a faixa considerada adequada para o milho (Cantarella et al., 1996), verifica-se que em todos os tratamentos os valores estão acima do limite mínimo de suficiência.

A resposta do milho em termos de S foliar também não foi alterada pela aplicação diferenciada de calcário e gesso (Tabela 10), contrariamente ao observado por Caires et al. (2011a) com a mesma cultura.

Em relação aos teores de micronutrientes no tecido foliar da cultura do milho, estes também não foram influenciados pela aplicação de gesso ou pela calagem em superfície em nenhum dos sistemas de produção. Vale destacar que, em todos os tratamentos, os teores desses nutrientes encontram-se dentro da faixa considerada adequada (Cantarella et al., 1996),

indicando que os mesmos não limitaram o desenvolvimento da cultura. Frequentemente, a diminuição na produção de muitas culturas, quando submetidas à calagem, tem sido associada com a redução na disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn no solo (Sumner et al., 1978). No entanto, a calagem não teve efeito sobre a absorção de Fe, Cu, Mn e Zn pela cultura do milho. Quaggio et al. (1993) também não observaram redução nos teores foliares de Mn e Zn da soja em função da calagem.

Tabela 10 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de milho sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado)

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----			
Doses de calcário e Gesso (A)										
Calcário	37,76	3,13	21,62	4,55b ⁽¹⁾	3,13	4,82	75,09	26,70	25,68	32,38
Calcário + Gesso	36,76	3,02	22,75	5,00a	3,17	5,48	79,23	30,11	21,91	31,89
Dobro de calcário	36,13	3,15	23,00	4,51b	3,20	5,18	75,03	26,41	22,88	27,77
Dobro de calcário + Gesso	38,19	3,16	21,25	5,03a	3,21	5,34	76,78	28,61	20,90	31,58
Efeito	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	5,97	10,76	9,58	10,11	5,37	29,92	5,58	10,81	21,20	18,12
Sistemas de Produção (B)										
Pastejado	37,66	3,26	22,00	4,75	3,12	5,99	79,91	27,96	24,75	32,89
Não Pastejado	36,76	2,97	22,31	4,79	3,23	4,42	76,16	27,95	20,94	28,93
Efeito	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	4,14	11,50	7,64	9,72	6,92	33,94	2,77	10,62	28,47	4,31
A x B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

⁽¹⁾Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). n.s: não significativo

5.3.2 Produtividade do milho

Quanto à produtividade, o milho não respondeu aos tratamentos e não houve diferença entre os sistemas de produção (Tabela 11), em concordância com o fato de que os teores de nutrientes foliares, de modo geral, ficaram dentro da faixa de suficiência para a cultura (Malavolta et al., 1997). Também não houve restrição hídrica durante o ciclo de desenvolvimento das plantas (Figura 10), o que poderia potencializar benefícios do gesso às plantas. Em trabalho realizado por Pauletti et al., (2014) o gesso favoreceu a produtividade do milho e do trigo e a da soja, somente quando houve deficiência hídrica. Quando, no entanto, não houve deficiência hídrica, altas doses de gesso prejudicaram a produtividade de grãos de soja por indução de deficiência de Mg.

Tabela 11 - Médias de produtividade de milho em função de doses de calcário e gesso agrícola em dois sistemas de produção (pastejado e não pastejado)

	Calcário	Dobro de calcário	Calcário + Gesso	Dobro de calcário + Gesso
Pastejado	14579,74	14360,50	14563,11	14274,65
Não pastejado	13953,93	13790,87	14397,75	12624,88

5.3.3 Teores de nutrientes no tecido foliar do feijão

Os teores de macronutrientes e micronutrientes, com exceção do Ca^{2+} e do S não foram influenciados pelas aplicações de calcário e gesso, assim como responderam aos sistemas de produção (Tabela 12). No presente trabalho, as concentrações nos tecidos foliares desses nutrientes ficaram dentro das respectivas faixas de suficiência para o feijão (Malavolta et al, 1997).

De maneira geral, incrementos no teor foliar de N em fabáceas, como feijão e soja, pelo uso de gesso não têm sido frequentemente observados (Galon et al., 1996; Caires et al., 2003), sendo a ocorrência de fixação biológica de N (FBN) apresentada como possível causa. No entanto, por apresentar ciclo mais curto e menor eficiência no processo de FBN do que a soja, o feijoeiro depende mais do N mineral do solo, podendo responder à melhoria química do solo subsuperficial com o gesso apresentando maior absorção de N, sobretudo na forma de NO_3^- . Todavia, no presente trabalho, esse efeito não foi observado, uma vez que a absorção de N pelo feijão foi similar nas diferentes doses de calcário e gesso.

O gesso possui resíduos de P (0,6-0,7% P_2O_5), e segundo Raij (2008), em solos com baixa disponibilidade de P ou quando da aplicação de doses elevadas de gesso, pode haver efeito da gessagem sobre os teores de P no solo e na absorção das culturas. No presente trabalho, os teores foliares de P no feijão não foram afetados pelos tratamentos, sendo estes resultados corroborados por aqueles obtidos por Caires et al. (2001; 2002; 2004).

A calagem associada ao gesso elevou os teores foliares de Ca no feijão (Tabela 12), como observado também por Caires et al. (2001; 2004). Tanto o calcário quanto o gesso são fontes de cálcio (Raij, 2008), e acréscimos nos teores do elemento no solo e tecidos das plantas são justificados quando da aplicação desses produtos, pois a absorção do Ca pelas culturas é geneticamente limitada, ocorrendo somente em regiões meristemáticas das raízes (Tisdale e Nelson, 1985).

A aplicação de gesso promoveu acréscimos nos teores foliares de S da cultura do feijoeiro, não sendo influenciados pelas doses de calcário e os sistemas de produção. Acréscimos no teor foliar de S nas culturas estão diretamente relacionados ao fornecimento do nutriente pelo gesso, que contém teor mínimo de 13% de S (Raij, 2008). Resultados similares foram obtidos por Caires et al. (1999, 2001) com milho e cevada, Rampim et al. (2011) com trigo e Galon et al. (1996) com feijão.

Tabela 12 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de feijão sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado)

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----			
Doses de calcário e Gesso (A)										
Calcário	49,59	2,83	26,59	9,52b ⁽¹⁾	4,12	4,62b	155,06	76,70	57,37	17,69
Calcário + Gesso	48,63	2,95	27,72	10,03a	4,18	5,36a	159,20	80,12	56,90	13,92
Dobro de calcário	48,00	2,93	28,04	9,48b	4,21	4,20b	155,09	76,39	52,76	14,89
Dobro de calcário + Gesso	50,02	2,95	26,22	10,01a	4,20	5,86a	156,75	78,59	56,55	12,92
Efeito	n.s	n.s	n.s	*	n.s	*	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	4,52	11,50	7,81	4,94	4,08	5,31	2,73	3,88	10,02	32,62
Sistemas de Produção (B)										
Pastejado	49,49	3,06	27,02	9,76	4,11	5,06	156	76,93	56,90	16,72
Não Pastejado	48,59	2,77	27,27	9,80	4,24	4,96	154	78,97	54,92	12,93
Efeito	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	3,12	12,29	6,23	4,75	5,26	7,05	1,35	3,81	12,38	43,81
A x B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

⁽¹⁾Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). n.s: não significativo

5.3.4 Produtividade do feijão

Similarmente ao observado para o milho a cultura do feijão também não respondeu aos tratamentos, assim como não houve diferença de rendimento entre os sistemas de produção. De maneira geral, para fabáceas como a soja e o feijão, não se tem observado respostas significativas de produtividade ao uso do gesso agrícola (Caires et al., 2006; 2011a; Neis et al., 2010; Soratto et al., 2010). Em contrapartida, em trabalho realizado por Fageria & Stone (2004) a aplicação de calcário até a dose de 12 Mg ha⁻¹ aumentou a produtividade de feijão em solo argiloso de cerrado sob plantio direto. Já Silva et al., (2011) avaliando a influencia da calagem no comportamento de diferentes matérias genéticas, evidenciaram que as cultivares de feijão têm desempenho produtivo distinto em função das doses de calcário aplicadas, sugerindo que alguns materiais são mais responsivos (recomendados) para cultivos em solos altamente corrigidos quanto à acidez.

O fato de não ter se observado diferença significativa do pastejo para a produtividade do feijão (Tabela 13), assim como do milho (Tabela 11), indica que a presença dos animais nas áreas não ocasionou compactação superficial do solo que pudesse vir a limitar o desenvolvimento das plantas e, por consequência, a produtividade de grãos (Sandini et al., 2011), demonstrando que a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária, são uma excelente opção para a diversificação e aumento de renda nas propriedades rurais.

Tabela 13 - Médias de produtividade de feijão em função de doses de calcário e gesso agrícola em dois sistemas de produção (pastejado e não pastejado)

	Calcário	Dobro de calcário	Calcário + Gesso	Dobro de calcário + Gesso
Pastejado	3136,91	2928,75	3057,56	3047,17
Não pastejado	2901,74	3053,17	3023,52	2805,29

5.3.5 Teores de nutrientes no tecido foliar do azevém

Os teores de N, P e K não foram influenciados pela calagem, assim como não responderam à utilização de gesso e aos sistemas de produção, sendo os mesmos mantidos em teores considerados adequados para o desenvolvimento da cultura (Tabela 14).

Apesar de inúmeros trabalhos reportarem a lixiviação de magnésio, e consequentemente, redução nos teores foliares desse nutriente, com a utilização de gesso, no presente estudo esse efeito não foi observado, sendo a sua concentração nos tecidos semelhante em todos os tratamentos. Isso pode ser explicado em partes pela sua aplicação em conjunto ao calcário dolomítico que por apresentar MgO em sua composição química, pode garantir maiores teores de Mg^{2+} em superfície (Caires et al., 2003), favorecendo a sua absorção pelas plantas.

Semelhante ao observado para as culturas do milho e do feijão, a pastagem de azevém apresentou maiores concentrações de Ca e S nos seus perfilhos quando a calagem foi realizada de forma associada à gessagem. Como o gesso agrícola é fonte de cálcio, assim como de enxofre é provável que o enriquecimento do solo com tais nutrientes tenha impulsionado a absorção destes pelas plantas de azevém.

Em relação aos micronutrientes não se observou diferenças significativas da calagem e da gessagem, assim como do pastejo na absorção de Fe, Mn, Cu e Zn pela cultura do azevém, os quais de mantiveram em patamares caracterizados como adequados ao desenvolvimento das plantas.

Tabela 14 - Resumos das análises de variância e médias de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em folhas de azevém sob doses de calcário e gesso em dois sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado)

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
Doses de calcário e Gesso (A)										
Calcário	4,68	3,03	21,62	4,55b ⁽¹⁾	3,13	5,78b	75,09	26,70	25,68	32,38
Calcário + Gesso	4,32	3,13	22,75	5,01 a	3,17	6,36a	79,23	30,11	21,91	31,89
Dobro de calcário	4,63	3,15	23,00	4,51b	3,20	5,94b	75,04	26,41	22,88	27,77
Dobro de calcário + Gesso	5,50	3,16	21,25	5,03 a	3,21	6,65a	76,78	28,61	20,90	31,58
Efeito	n.s	n.s	n.s	*	n.s	*	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	10,92	10,76	9,58	10,11	5,37	6,02	5,58	10,81	28,47	18,12
Sistemas de Produção (B)										
Pastejado	6,50	3,26	22,00	4,75	3,12	6,50	77,91	27,92	24,75	32,89
Não Pastejado	6,06	2,97	22,31	4,79	3,23	5,86	75,16	27,99	20,94	28,93
Efeito	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V (%)	15,24	11,50	7,64	9,72	6,92	5,16	12,77	10,62	21,20	4,31
A x B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

⁽¹⁾Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). n.s: não significativo

5.3.6 Produtividade do Azevém

Observa-se na Tabela 15 efeito significativo do fator sistemas de produção (pastejado e não pastejado) para as variáveis: produção de matéria seca total (MST) e matéria seca residual (MSR). Para a produção de matéria seca total, as áreas pastejadas produziram em média 8226,54 kg ha⁻¹ de MS e as áreas sem pastejo produziram 5737,52 kg ha⁻¹ de MS. As maiores produtividades de biomassa nas áreas com pastejo podem ser explicadas pela intensificação do ritmo da rebrota em função da fotossíntese compensatória, presente em plantas desfolhadas, cujas taxas fotossintéticas são geralmente superiores àquelas das plantas intactas (Richards, 1993). Além disso, como o manejo da pastagem se deu numa condição de pastejo moderado, o dossel forrageiro remanescente permitiu, a rápida renovação das folhas pela manutenção do processo fotossintético, refletindo um rejuvenescimento dos perfilhos ou inibição na queda normal da capacidade fotossintética das folhas devido ao avanço na maturidade, o que permite às plantas desfolhadas fixar mais carbono quando comparadas às plantas intactas (Briske & Richards, 1995).

Em relação às doses de calcário e gesso, pode-se dizer que nas parcelas onde o uso do calcário foi associado à aplicação de gesso as produtividades foram proporcionalmente superiores, em relação à dose padrão de calcário, sendo que esses resultados podem ser atribuídos às maiores concentrações de Ca e S nos tecidos da cultura. Respostas do milho e da cevada à aplicação de gesso, em decorrência do fornecimento de enxofre, da melhoria do teor

de Ca trocável e do aumento da relação Ca/Mg no solo, também foram observadas por Caires et al. (1999) e Caires et al. (2001), respectivamente.

Em relação à produtividade de biomassa residual esta foi afetada pela interação entre a aplicação de calcário e gesso e os sistemas de produção (com e sem pastejo) (Tabela 15), observando-se maiores valores dessa variável nas parcelas com gesso e não pastejadas. Os valores evidenciados neste ensaio foram superiores aos relatados por Flores *et al.* (2007) que obtiveram quantidades de matéria seca residual variando de 1850 a 6050 kg ha⁻¹ de MS respectivamente para o tratamento manejado a 10 cm de altura e o tratamento sem pastejo. Resultado semelhante foi encontrado por Janssen (2009) que percebeu redução na massa seca residual de azevém anual pastejado quando comparado a um sistema de azevém para cobertura do solo.

Tabela 15 - Produção de matéria seca residual (MSR, kg MS ha⁻¹) e massa seca total (MST, kg MS ha⁻¹), em diferentes sistemas de produção (Pastejado e Não Pastejado) e aplicações de calcário e gesso em superfície

Tratamento (A)	Sistemas de Produção (B)					
	MSR (kg MS ha ⁻¹)			MST (kg MS ha ⁻¹)		
	SP ⁽¹⁾	CP	Média	SP	CP	Média
Calcário	5376,20Ab ⁽²⁾	2817,20 Bb	4096,70	5376,20	7271,42	6323.81 b
Calcário + Gesso	5695,06 Aab	3529,50 Bab	4612,28	5695,06	9335,34	7515,19 a
Dobro de calcário	5289,91Ab	2788,48 Bb	4039,19	5289,91	8795,37	7042,64 ab
Dobro de Calcário + Gesso	6588,94 Aa	3644,64 Ba	5116,79	6588,94	7504,05	7046,50 ab
Média	5737,53	3194,95		5737,52 b	8226,54 a	
C.V (%) (A)	12,08			15,27		
C.V (%) (B)	14,09			19,27		
Interação A x B	*			n.s		

⁽¹⁾ SP indica os tratamentos não pastejados e CP os tratamentos Pastejados. ⁽²⁾ Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05). n.s: não significativo.

5.4 Conclusões

1- Em termos de produtividade, as culturas do milho e do feijão não foram influenciadas pelos tratamentos de calcário e gesso, assim como não responderam negativamente ao pastejo.

2- As produções de matéria seca total e residual da pastagem de azevém foram positivamente afetadas pela utilização do gesso, coincidindo com o aumento na absorção de Ca e S, sendo evidenciadas maiores produções de biomassa total acumulada nas áreas pastejadas.

5.5 Referências bibliográficas

ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786 p.

BRISKE, D. D; RICHARDS, J. H. **Plant responses to defoliation: a physiological, morphological and demographic evaluation**. In: BEDUNAH, D.J.; GOSEBEE, R.E. (eds). *Wildland Plants: physiological ecology and developmental morphology*. Denver, Colorado: Society of Range Management, 1995. p. 635-710.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213-223, 2001.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia agrícola**, v. 59, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M.; Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, v. 63, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A.W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia agrícola**, v. 68, p. 209-216, 2011a.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use Manage**. v. 27, p. 45-53, 2011b.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1996. p. 45-47.

CASSOL, L. C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p. (Tese de Doutorado).

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006) - **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 399 p.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agrícola**, v. 58, p. 825-831, 2001.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.73-78, 2004.

FLORES, J.P.C.; et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 771-780, 2007.

FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2385-2396, 2008.

GALON, J. A; BELLINGIERI, P. A; ALCARDE, J. C. Efeito de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. CARIOCA - 80. **Scientia agrícola**, v. 53, p. 119-125, 1996.

JANSSEN, H. P. **Adubação nitrogenada para rendimento de milho silagem em sucessão ao azevém pastejado, pré-secado e cobertura de solo em sistemas integrados de produção.** 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAAK, R. (1968) - *Geografia física do Estado do Paraná.* Curitiba. 350p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto.** 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 409-416, 2010.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 655-663, 2003.

PAULETTI, V.; PIERRI L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 1. São Paulo, Ed. UNESP, 2008. 407p.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 375-383, 1993.

RAIJ, B. V.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI JR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 233p.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RICHARDS, J. H. **Physiology of plants recovering from defoliation**. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS (17.: 1993: Palmerston North). Proceedings, 1993. p. 85-94.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State, University of Science and Technology. (Special Report, 48), 1992. 26p.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISK, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.41, n.8, p. 1315-1322, 2011.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 196-205, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, RS: SBRS/Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 394p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos de aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 715-725, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C; MELLO, F. F de. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, p. 965-974, 2010.

SUMNER, M. E.; FARINA, P. M. W.; HORST, V. J. Magnesium fixation: a possible cause of negative yield responses to lime applications. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, p. 955-1007, 1978.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 3.ed. New York: Macmillan, 1985. 694p.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p. 110-117, 2007.

CAPÍTULO VI

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como a precocidade tem sido cada vez maior nas culturas produtoras de grãos períodos curtos de estresse hídrico em fases críticas do desenvolvimento destas plantas têm afetado intensamente a produção. Portanto, gerar condições adequadas de enraizamento das culturas garante não somente o potencial de absorção de água e nutrientes em condições normais, mas também assegura uma maior estabilidade da produção em situações climáticas desfavoráveis. No entanto, para garantir o adequado crescimento radicular e estimular seu desenvolvimento em profundidade precisamos nos ater à adoção de práticas de manejo que viabilizem a correção química do perfil do solo, uma vez que 70% da superfície territorial brasileira é composta por solos ácidos e essa acidez tem se manifestado, especialmente em subsuperfície, pois os atuais sistemas de recomendação de adubação e calagem tem preconizado a correção da chamada camada arável ou superficial, a 0 - 20 cm de profundidade e, com isso tem-se a formação de uma barreira química, pela presença de baixos teores de cátions básicos e elevada saturação por alumínio, abaixo dessa profundidade.

Dessa forma, sabendo-se da capacidade do calcário em aumentar o pH nas camadas superficiais e do gesso de fornecer nutrientes para as culturas e melhorar o ambiente radicular de subsolos ácidos, a aplicação desses produtos de forma associada pode ser uma técnica de grande utilidade, tendo em vista a necessidade de aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção por meio do melhor aproveitamento de água e nutrientes.

Para tanto, diante dos resultados encontrados nesse experimento sugere-se que em sistemas onde tem-se elevado aporte de cobertura de solo e matéria orgânica, assim como teores de nutrientes em níveis médios a altos, os possíveis efeitos nocivos de uma supercalagem (desequilíbrio nutricional) assim como da utilização de doses elevadas de gesso (lixiviação de nutrientes) tornam-se menos perceptíveis e, portanto, maiores quantidades de calcário e gesso em aplicações conjuntas, poderiam estar sendo utilizadas com certa margem de segurança, a fim de se obter uma melhor distribuição dos nutrientes ao longo do perfil do solo. Contudo, faltam informações que permitam quantificar as doses de cada um dos corretivos visando altas produtividades em diferentes condições de solos e sistemas de produção, predominando a necessidade de mais pesquisas que procurem integrar as três dimensões solo-planta-animal e que estas sejam avaliadas a longo prazo.